

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.13.02 Глобальные геопроцессы

**Направление подготовки (специальность) 05.03.06 Экология и природопользование**

**Профиль образовательной программы Экология**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1.1. Лекция № 1 Процессы выветривания. Сущность и направленность процессов выветривания. Геологическая деятельность ветра	3
1.2. Лекция № 2 Геологическая деятельность поверхностных текучих вод	6
1.3. Лекция № 3 Тектонические движения земной коры.	9
1.4. Лекция № 4 Колебательные движения земной коры	11
1.5. Лекция № 5 Разрывные нарушения горных пород.	12
1.6. Лекции № 6,7 Магматизм. Основные формы магматизма.	14
1.7. Лекции № 8,9 Метаморфизм. Основные факторы метаморфизма.	17
1.8. Лекция № 10 Глобальные геопроцессы и нелинейность	24
1.9. Лекции № 11,12 Геодинамические модели	28
1.10 Лекция № 13 Ритмичность процессов в истории Земли	33
2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ	36
3. Методические материалы по проведению практических занятий	36-42
3.1 Практическое занятие №1 (ПЗ-1) Земля в космическом пространстве, происхождение Солнечной системы, строение земного шара и планет земной группы	
3.2 Практическое занятие №2 (ПЗ-2) Земная кора, ее состав и строение. Вещественный состав земной коры	
3.3 Практическое занятие №3 (ПЗ-3) Геологическая хронология. Специфика пространственных временных отношений	
3.4 Практическое занятие №4 (ПЗ-4) Геологическая деятельность ледников	
3.5 Практическое занятие №5 (ПЗ-5) Тектонические движения земной коры	
3.6 Практическое занятие №6 (ПЗ-6) Складчатые нарушения горных пород	
3.7 Практические занятия №7,№8 (ПЗ-7; ПЗ-8) Землетрясения и сейсмичность	
3.8 Практическое занятие №9 (ПЗ-9) Вулканализм.	
3.9 Практическое занятие №10 (ПЗ-10) Океаны как структурный элемент высшего порядка	
3.10 Практическое занятие №11 (ПЗ-11) Континенты как структурный элемент высшего порядка.	
3.11 Практическое занятие №12 (ПЗ-12) Теория тектоники литосферных плит	
3.12 Практическое занятие №13 (ПЗ-13) Ячеистая модель геосфер	
4. Методические материалы по проведению семинарских занятий	42

# **1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

## **1. 1 Лекция № 1 ( 2 часа).**

**Тема:** Процессы выветривания. Сущность и направленность процессов выветривания. Геологическая деятельность ветра

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1.Агенты и типы выветривания. Физическое выветривание и вызывающие его факторы. Химическое выветривание, факторы.

2.Роль органического мира в процессах выветривания. Формирование, строение и мощность кор выветривания в различных климатических зонах и породах. Древние коры выветривания, полезные ископаемые, приуроченные к корам выветривания. Главнейшие типы почв и их зональность.

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

1.Агенты и типы выветривания. Физическое выветривание и вызывающие его факторы. Химическое выветривание, факторы.

**Выветривание** – это совокупность процессов физического, химического, биологического разрушения, разложения магматических, метаморфических, древних осадочных пород на поверхности земной коры или вблизи нее, формирующих исходный материал для образования осадков, осадочных пород и остаточные образования, слагающие коры выветривания. В ходе выветривания происходит дезинтеграция породы, разделение ее на составные части под действием различных факторов и сил. Но выветривание это не только дробление (кластогенез), фракционирование, дифференциация исходных пород, подготовка материала к последующему осадко- и породообразованию, перевод его в состояние и формы, способные к перемещению различными способами с последующим концентрированием в бассейнах седиментации различного типа. Это и способ созидания новых геологических тел, таких как наземные и подводные коры выветривания, почвы, способ образования пород и полезных ископаемых. При этом выветривание, как способ создания новых геологических тел, включает преобразования, процессы, характерные для формирования типично осадочных пород. **Физическое выветривание** – это дробление материнских пород, их дезинтеграция без существенного изменения состава минеральных зерен. Такое выветривание характерно для Арктики, Антарктики, горных районов, областей аридных зон – пустынь, полупустынь со скучным содержанием влаги в почве, весьма малым годовым количеством осадков при сильном солнечном нагреве, со значительным колебанием суточных и сезонных температур. Физическое выветривание происходит, в основном, под действием изменения температуры, замерзания-оттаивания воды, действия сверлящих (роющих)

животных, животных, корневой системы растений, кристаллизации содержащихся в капиллярной воде солей. Существенных изменений состава обломков при этом не происходит.

Среди факторов выветривания отметим, в первую очередь, изменение температуры – суточные, сезонные. Это сложные процессы химического разложения горных пород, включающие значительную группу химических реакций, биогенных и биохимических процессов.

Основные факторы данного типа выветривания – вода, углекислота, сильные (серная, азотная), органические кислоты, кислород, сероводород, метан, аммиак, биологическая деятельность. Ведущими процессами являются растворение, выщелачивание, окисление, гидратация, вторичная карбонатизация, гидролиз и пр. происходит вынос из зоны выветривания катионов металлов, щелочей и др. элементов, оксидов, гидроксидов в форме истинных и коллоидных растворов, в видезвесей тончайших частиц. Биологическим выветриванием называют разрушение горных пород растениями и мельчайшими живыми организмами – бактериями. Разрушает горные породы не только корневая система крупных растений, но и, например, растущие на поверхности скал лишайники.

## 2. Роль органического мира в процессах выветривания. Формирование, строение и мощность кор выветривания в различных климатических зонах и породах.

В сложных процессах химического разложения минералов и горных пород велика роль биосфера. Биогеохимическое воздействие на горные породы начинается уже с первых поселенцев на скальных поверхностях горных пород - различных микроорганизмов, лишайников и мхов. В результате такого воздействия на скальной поверхности породы после их отмирания появляются углубления, заполненные сухим органическим веществом (биомасса микробных и других тел). Все это подготавливает условия для последующего заселения скал высшими растениями и сопутствующей им фауной. Роль организмов в химическом выветривании определяется тем, что они поглощают из разрушающейся породы химические элементы в соответствии со своими биологическими потребностями (как питательные вещества). К числу таких элементов относятся P, S, Cl, K, Ca, Mg, Na, Sr, B, в меньшей степени Si и Al, Fe и др. Анализ золы растений показывает, что содержание и соотношение элементов в ней вследствие различной интенсивности их биологического поглощения существенно иные, чем в исходных породах. В золе содержится в десятки раз больше P, S, в несколько раз больше K, Ca, Mg, а также микроэлементов, меньше Si, Al и Fe. Вместе с тем наличие в золе Si и Al свидетельствует о том, что уже первичная камнелюбивая растительность разрушает

прочные связи между кремнеземом и глиноземом в кристаллической решетке алюмосиликатов.

### 3. Главнейшие типы почв и их зональность.

Распространение основных типов почв на суше подчинено определенной закономерности. Впервые закономерности географического размещения почв выявлены В.В.Докучаевым при изучении широтного распределения почв Русской равнины, на основании которых он сформулировал закон *горизонтальной зональности*. **Почвы тундровой зоны.** Зональным типом почв тундровой зоны являются тундрово-глеевые почвы, формирующиеся под влиянием определенных факторов почвообразования, характеристика которых приведена ниже. **Почвы таежно-лесной зоны.** Таежная зона делится на три подзоны: северная тайга с глееподзолистыми почвами, средняя тайга с подзолистыми и южная тайга с дерново-подзолистыми (в южную подзону входит Беларусь). Достаточно большая территория обуславливает значительные изменения факторов почвообразования с севера на юг и с запада на восток. **Почвы лесостепной зоны.** Лесостепная зона занимает промежуточное положение между таежно-лесной и степной зонами, типичными для нее являются серые лесные почвы (чередуются с бурыми лесными, черноземами выщелоченными и оподзоленными). **Почвы степной зоны.** Южнее зоны широколиственных лесов в Евразии находится зона луговых степей с типичными для нее черноземными почвами, которые распространены с запада Восточно-Европейской равнины до южной границы Западной Сибири и севера Казахстана. На территории Северной Америки формируются в границах Великих равнин (США). **Почвы зоны сухих степей.** Зональным типом являются каштановые почвы, сменяющие черноземы на юге. Располагаются узкой полосой на западе Восточной Европы вдоль Черного моря, которая расширяется на восток Евразии и занимает наибольшие площади в Монголии и Казахстане. **Почвы полупустынной зоны.** Зональным типом пустынно-степной зоны (полупустынной) являются бурые аридные почвы. **Почвы сухих субтропиков (предгорно-пустынных степей).** В сухих степях субтропического пояса наиболее распространены сероземы. Расположены в основном в предгорьях Средней Азии, вокруг Тянь-Шаня и др. **Почвы влажных субтропиков.** Зональным типом почв являются красноземы, которые распространены на Черноморском и Каспийском побережье, южных островах Японии, в Юго-Восточном и Центральном Китае, Южной Америке, Болгарии, Италии и др. К интразональным почвам относятся солончаки, солонцы и солоди, встречающиеся в полупустынной, пустынной, лесостепной, степной, таёжной и некоторых других зонах. Эти почвы относятся к засоленным, т.е. содержат в своем профиле легкорастворимые соли в токсичных для растений количествах. Чаще

всего в засоленных почвах встречаются  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ . Пойма – это часть долины реки, которая периодически затапливается в половодье. Повсеместно по поймам рек формируются аллювиальные почвы.

## 1.2 Лекция № 2 ( 2 часа).

**Тема:** Геологическая деятельность поверхностных текучих вод

### 1.2.1 Вопросы лекции:

- 1.Линейный размыв (эрозия), перенос обломочного материала переменными потоками; аккумуляция осадков.
- 2.Направленность и цикличность в развитии речных долин.
- 3.Аллювиальные россыпные месторождения полезных ископаемых.

### 1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1.Линейный размыв (эрозия), перенос обломочного материала переменными потоками; аккумуляция осадков.

В процессе стекания атмосферных вод, выпадающих на сушу, происходит плоскостной смыв твердых частиц, линейный размыв горных пород, перенос продуктов смыва и размыва, их переотложение на сушу или вынос за ее пределы. Линейный размыв называют *эрзией*, а переотложение продуктов смыва и размыва — аккумуляцией осадков. Иногда термин эрозия употребляют расширительно и тогда процесс смыва называют плоскостной эрозией, а процесс размыва — линейной эрозией. Смыв происходит под воздействием ударов дождевых капель и стока тонкой пленки воды, который переносит наиболее мелкие частицы рыхлых продуктов выветривания вниз по склону. Следует отметить, что обломки горных пород могут перемещать вниз и под воздействием собственного веса, особенно на крутых склонах и обрывах. Образованные таким путем отложения называются *коллювием*. Делювиальные отложения залегают в виде наклонного пологого шлейфа, мощность которого возрастает вниз по склону. Максимальные мощности делювия достигают 15—20 м и более. Наиболее благоприятные условия для делювиального процесса создаются в пределах равнинных степных районов умеренного и субтропического поясов и в зоне сухих саванн, где в кратковременные периоды таяния снегов или выпадения дождей по склонам смываются рыхлые продукты выветривания. Этому способствует также относительно разреженная травянистая растительность. Формы рельефа, выработанные временными русловыми потоками равнинных территорий и горных стран, существенно различаются.

Эти водотоки, связанные с сезонным выпадением атмосферных осадков, формируют *овраги* — удлиненные, узкие и крутостенные отрицательные элементы рельефа. В развитии оврага выделяется четыре стадии. Началом оврага служат случайные углубления на поверхности почвы, дорожная колея, глубокая борозда при пахоте вниз по склону и пр. При наличии легко размываемых пород сливающиеся струи воды образуют неглубокую промоину. В дальнейшем поток дождевых или талых вод концентрируется в этой промоине, и начинается постепенное врезание оврага его вершиной в направлении водораздела — так называемая *ретрессивная, или «пямящаяся»*, эрозия. Разветвленная овражно-балочная сеть интенсивно расчленяет платообразные возвышенности Восточно-Европейской равнины: Среднерусскую, Приволжскую, Волыно - Подольскую. Линейная эрозия поражает до 20—30% площади этих регионов, создавая серьезную проблему для сельского хозяйства. Отложения временных водотоков на равнинах представлены плохо сортированными обломками местных плотных горных пород, перемешанных с материалом рыхлых наносов. Эти отложения накапливаются в нижней части оврагов и в днищах балок, в устьевых участках которых они часто образуют *конуса выноса* мощностью в несколько метров. Верховья ложбин стока в горах расположены в верхней части горных склонов. Они сходятся в единое русло, которое называют *каналом стока*. По этому каналу в сезоны выпадения дождей или таяния ледников вода движется с большой скоростью. Как известно, энергия движущейся воды пропорциональна квадрату ее скорости. При выходе его на предгорную равнину скорость течения резко уменьшается, временный горный поток разливается по равнине в виде веера, иссякает и откладывает весь принесенный обломочный материал. При этом образуется *конус выноса* временного горного потока. Отложения конусов выноса временных горных потоков были выделены в самостоятельный генетический тип континентальных отложений и названы *пролювием*.

## 2.Направленность и цикличность в развитии речных долин.

В горных районах периодически возникают бурные грязекаменные потоки, низвергающиеся с большой скоростью. Геологическая деятельность рек складывается из эрозии плотных горных пород и рыхлых наносов, по которым протекает река, переноса продуктов эрозии и их осаждения. Различают эрозию *донную, или глубинную*, направленную на врезание потока в породы, слагающие дно русла, и *боковую*, ведущую к подмыванию берегов и в целом к расширению долины. Соотношение глубинной и боковой эрозий меняется на разных стадиях развития долины. Первоначально преобладает глубинная эрозия, когда водный поток, врезаясь в горные породы, стремится выработать свой продольный профиль.

На этой стадии в большинстве случаев продольный профиль рек характеризуется значительными неровностями, различными уклонами на отдельных отрезках, перепадами (порогами). Уровень того бассейна, куда впадает река, определяет глубину врезания реки и поэтому называется *базисом эрозии*. Он является общим для всей речной системы (главной реки со всеми притоками).

Обломочные частицы, захваченные речным потоком, переносятся либо во взвешенном состоянии, либо путем перекатывания и перемещения по дну. Масса переносимых рекой на протяжении года твердых частиц называется *твёрдым стоком* в отличие от массы растворенных веществ — *ионного стока*. Соотношение масс перемещаемых по дну веществ: взвешенных веществ: растворимых веществ на равнинных реках в среднем составляет 0,05:0,56:1, в горных реках — 0,86:6,8:1. Все виды речных отложений называются *аллювием*.

В той части речной долины, которая связана с современной деятельностью реки, выделяются два главных морфологических элемента: *русло*, по которому постоянно на протяжении года движется водный поток, и *пойма* — часть речной долины, ежегодно затапливаемая водой лишь в период паводка.

Для формирования поймы важное значение имеет извилистость реки. Широкие поймы равнинных рек обусловлены процессами подмывания крутых берегов и меандрирования русла. Когда извилины реки приобретают петлеобразную форму, то узкие перешейки в половодье прерываются быстрым потоком и река спрямляет свое русло, а отшнурованная излучина превращается в *старицу* — пойменное озеро, которое постепенно заиливается и зарастает. На широких поймах равнинных рек имеется большое количество стариц на разных стадиях их отмирания — в виде озер, заболоченных участков и сухих понижений. Отложения стариц состоят из темноокрашенных иловатых суглинков и супесей, богаты органическим веществом, в которых из-за недостатка кислорода развиваются восстановительные процессы и иногда образуется мельниковит — аморфный сульфид железа. Таким образом, в строении поймы четко выделяются три типа аллювия: *русловой аллювий*, слагающий нижнюю часть толщи пойменных отложений, *пойменный аллювий*, покрывающий русловой, и *старичный*, частично перекрытый пойменным. Совершенно особое строение имеют устьевые части рек, в которых образуются дельты, эстуарии и лиманы.

*Дельта* — устьевая часть реки, в которой происходит разгрузка переносимого материала и которая постепенно нарастает в сторону моря.. Очертания такого участка отдаленно напоминают букву  $\Delta$  греческого алфавита. Обширные дельты образуются при определенных условиях: небольшой глубине предустьевой акватории, обилии

обломочного материала, переносимого рекой, отсутствии приливов, отливов и сильных вдольбереговых течений. Мощность дельтовых отложений обычно близка к мощности аллювия в речной долине, но в случае медленного прогибания земной коры в районе расположения дельты мощность этих отложений сильно возрастает.

Примером может служить толща отложений в дельте Миссисипи, где благодаря прогибанию дна Мексиканского залива мощность дельтовых отложений превышает 600 м. *Эстуарий* — воронкообразный в плане залив, образующийся при затоплении морем устья крупной реки в условиях высоких приливов и отливов, при небольшом количестве обломочного материала, приносимого рекой. Отложения эстуариев формируются в результате интенсивного выпадения многих веществ, содержащихся в реках в виде истинных и коллоидных растворов, при смешивании пресных и соленых вод. *Лиманы* — затопленные морем устьевые части рек в условиях приливов и отливов и широких побережий. При этом образуются обширные, но неглубокие заливы, а собственное русло реки перемещается к вершине лимана.

### 3. Аллювиальные россыпные месторождения полезных ископаемых.

С аллювиальными отложениями связаны **россыпные месторождения** многих важных **полезных ископаемых**. *Россыпями*, или россыпными месторождениями, называются скопления обломочного материала, содержащие ценные устойчивые минералы с большим удельным весом. Разрабатывают россыпи золота, платины, кассiterита, вольфрамита, монацита, tantalита, колумбита, циркона, алмазов. В нашей стране широко известны россыпные месторождения золота на Южном Урале, в Сибири, на северо-востоке страны, а за границей — на Аляске, в Калифорнии (США), Восточной Австралии и многих других местах. Большая часть россыпей золота приурочена к аллювиальным отложениям.

## 1.3 Лекция № 3 ( 2 часа).

**Тема:** Тектонические движения земной коры.

### 1.3.1 Вопросы лекции:

1. Тектонические деформации (нарушения) горных пород.
2. Типы тектонических движений земной коры. Вертикальные и горизонтальные движения, их взаимосвязь.

### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Тектонические деформации (нарушения) горных пород.

Тектоническими нарушениями называются перемещения вещества земной коры под влиянием процессов, происходящих в более глубоких недрах Земли. Эти движения

вызывают тектонические нарушения, т. е. изменения первичного залегания горных пород. Особенно отчетливо эти изменения наблюдаются на примере осадочных пород, которые первично отлагаются в виде горизонтально залегающих пластов, а вследствие тектонических нарушений оказываются смятыми в складки или разорванными на отдельные чешуи и блоки. Тектонические движения, в конечном счете создают наблюдаемую структуру земной коры, т. е. они являются созидальными движениями («тектонос» по-гречески—созидательный). В результате этих движений возникают и основные неровности рельефа поверхности Земли.

## 2. Типы тектонических движений земной коры. Вертикальные и горизонтальные движения, их взаимосвязь.

Тектонические движения можно разделить на два типа: радиальные — колебательные, или эпейрогенические движения, и тангенциальные, орогенические. В первом типе движении напряжения передаются в направлении, близком к радиусу Земли, во втором — по касательной к поверхности оболочек земной коры. Очень часто эти движения бывают, взаимосвязаны, или один тип движений порождает другой. В результате этих типов движений создаются три вида тектонических деформаций :1) деформации крупных прогибов и поднятий; 2) складчатые; 3) разрывные.

Первый тип тектонических деформаций, вызванный радиальными движениями в чистом виде, выражается в пологих поднятиях и прогибах земной коры, чаще всего большого радиуса. Колебания, вызывающие образование подобных форм, в отличие от сейсмических колебаний совершаются относительно медленно, ощутимых разрушений не приносят и непосредственным наблюдениям человека не поддаются.

Складчатые деформации вызываются тангенциальными движениями и выражаются в виде складок, образующих длинные или широкие пучки, иногда короткие, быстро затухающие морщины.

Третий тип тектонических деформаций характеризуется образованием разрывов в земной коре и перемещением отдельных участков ее вдоль трещин этих разрывов. Разрывные нарушения очень часто являются производными от первых двух типов, но в большей мере от складчатых. Установить причину той или иной деформации не всегда удается, так как, кроме вышеуказанных типов движений, деформации могут образоваться в связи с внедрением магмы и т. и. Поэтому нарушения в земной коре классифицируют не по типу вызвавших их движений, а по форме или каким-либо другим особенностям самих нарушений.

## **1.4 Лекция № 4 (2 часа).**

**Тема:** Колебательные движения земной коры

### **1.4.1 Вопросы лекции:**

1. Вертикальные и горизонтальные движения земной коры. Классификация колебательных движений по времени их проявления.

2. Современные колебательные движения земной коры.

### **1.4.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Вертикальные и горизонтальные движения земной коры. Классификация колебательных движений по времени их проявления.

Колебательные движения – медленное поднятие и опускание отдельных участков земной коры, приводящие к образованию крупных поднятий и прогибов. Часто эти движения называют эпейрогеническими (рождение материков). По своей направленности они относятся к вертикальным движениям, а по масштабности проявления – к общекоровым или глубинным.

Виды колебательных движений земной коры:

- прошедших геологических периодов;
- новейшие, связанные с четвертичным периодом;
- современные, которые изучает наука неотектоника.

Особый интерес представляют современные колебательные движения, которые необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений. Так, опускание района Черноморского побережья приводит к интенсивному размыванию берегов волнами моря и образованию крупных оползней.

### 2. Современные колебательные движения земной коры.

Современные колебательные движения наиболее интенсивно происходят в районах геосинклиналей. Установлено, например, что Донецкий бассейн поднимается относительно Ростова-на-Дону со скоростью 6...10 мм/год, а Среднерусская возвышенность – до 2 см/год. Поднимаются районы Курска (3,6 мм/год), Новая земля, Северный Прикаспий. Интенсивно продолжает подниматься Скандинавия (25 мм/год), только район Стокгольма за последние 50 лет поднялся на 19 см. Ряд участков продолжают погружаться: Москва (3,7 мм/год), Санкт-Петербург (3,6 мм/год), Восточное Предкавказье (до 7 мм/год). Средние скорости опусканий в Азово-Кубанской впадине составляют 3...5, а в Терской впадине до 7 мм/год. Интенсивно опускаются районы Голландии (4...6 см/год), Датских проливов (15...20 мм/год), Франции и Баварии (30 мм/год). За счет опускания западного побережья Африки приустьевая часть русла р.

Конго опустилась и прослеживается на дне океана до глубины 2000 м на расстоянии 130 км от берега.

## **1.5 Лекция № 5 ( 2 часа).**

**Тема:** Разрывные нарушения горных пород.

### **1.5.1 Вопросы лекции:**

- 1.Физические условия возникновения разрывных нарушений в твердом теле.
- 2.Геометрические и генетические классификации разрывных нарушений.

### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

#### 1.Физические условия возникновения разрывных нарушений в твердом теле.

Разрывным нарушением называется деформация пластов горных пород с нарушением их сплошности, возникающая в случае превышения предела прочности пород тектоническими напряжениями. Тектонические разрывы, как и складки, необычайно разнообразны по своей форме, размерам, величине смещения и другим параметрам. В разрывном нарушении, как и в складке, различают его элементы. Рассмотрим их более подробно.

В любом разрывном нарушении всегда выделяются *плоскость разрыва* или *сместителя и крылья разрыва*, т.е. два блока пород по обе стороны сместителя, которые подверглись перемещению. Важным параметром разрыва является его амплитуда. Расстояние от пласта (его подошвы или кровли) в лежачем крыле до этого же пласта (его подошвы или кровли) в висячем крыле называется *амплитудой по сместителю*. Кроме того, различают *стратиграфическую амплитуду*, которая измеряется по нормали к плоскости напластования в любом крыле разрыва до проекции пласта; *вертикальную амплитуду-проекцию* амплитуды по сместителю на вертикальную плоскость; *горизонтальную амплитуду* - проекцию амплитуды по сместителю на горизонтальную плоскость. Положение сместителя в пространстве определяется, как и ориентировка любой другой плоскости, с помощью линий падения, простирания и угла падения.

#### 2.Геометрические и генетические классификации разрывных нарушений.

Среди различных типов разрывных нарушений можно выделить главные: *брос*-сместитель вертикален или наклонен в сторону опущенного крыла. Угол падения сброса может быть разным, но чаще всего составляет от 40 до 60 °. Сбросы образуются в условиях тектонического растяжения. *Взброс* - сместитель наклонен в сторону поднятого крыла с углами больше 45 °. *Надвиг* - тот же взброс, но угол падения сместителя пологий, обычно меньше 45 °. Следует отметить, что это подразделение условное. Надвиги и взбросы образуются в условиях тектонического сжатия, и поэтому их формирование

сопровождает процессы складчатости. *Сдвиг* - разрыв с перемещением крыльев по простиранию сместителя. Как правило, сместитель у сдвигов ориентирован близко к вертикальному положению. Различают правые и левые сдвиги. *Правым сдвигом* называют разрыв, у которого крыло за сместителем, по отношению к наблюдателю, смещается вправо и, наоборот, при *левом сдвиге* дальнее крыло смещается влево. *Раздвиг* - разрыв с перемещением крыльев перпендикулярно сместителю. При раздигах обычно образуется зияние между крыльями.

*Покров*, или *шарьяж*, - разрыв с почти горизонтальным положением сместителя. У покрова различают собственно *тело покрова*, или *аллохтон*, т.е. ту его часть, которая перемещается; *автохтон*- породы, подстилающие покровы. В самом теле покрова - аллохтоне- выделяют фронт покрова и корень покрова - место, откуда происходит его перемещение. Если аллохтон расчленяется эрозией таким образом, что обнажаются породы автохтона, то их выход на дневную поверхность называется *тектоническим окном*. Если от фронтальной части аллохтона эрозией отделены его блоки, то они именуются *тектоническими останцами*. Сместитель в покрове часто называют поверхностью срыва или волочения.

Нередко аллохтон сам подвергается распаду, расщеплению на покровы или пластины меньшего размера - *дигитации*. В том случае, когда движение аллохтона приводит к срыва и некоторому перемещению отдельных толщ автохтона, но они при этом не утрачивают связи С подстилающей толщей, говорят о *параавтохтоне* ("пара" - близко, возле). Образование покровов нередко происходит в подводных условиях. Фронтальная часть покрова разрушается, и формируется *олистострома*, состоящая из отдельных глыб разного размера - *олистолитов*, заключенных в матриксе из осадочных пород. Крупные оползшие части пластов называются *олистоплаками*.

Покровы, или *шарьяжи*, - важные структурные элементы земной коры и, как сейчас выясняется, не только ее самой верхней части. Покровные тектонические нарушения могут образовываться различными путями: в процессе складчатости, т.е. быть синскладчатыми, образуясь на подвернутых крыльях лежачих складок или в результате поддвига под складчатое сооружение жесткого блока, массива и т. д. Они могут быть и доскладчатыми, а затем сминаться в складки или формироваться после складчатости. В настоящее время известны покровы с доказанной амплитудой более 200 км. Так, Скандинавские каледонские складчатые сооружения надвинуты на метаморфические докембрийские породы Балтийского щита на 150-200 км, и последние обнажаются в ряде тектонических окон. Кристаллические породы Аппалачских гор по горизонтальной поверхности надвинуты на неметаморфизованные нижнепалеозойские толщи более чем на

200 км. В Скалистых горах США в штате Вайоминг установлен надвиг, уходящий под углом около  $40^{\circ}$  до глубины в 24 км.

Тектоническое раздробление аллохтона по его сместителю - поверхности срыва - приводит к формированию *тектонической брекции* или смеси - *меланж*, состоящего из перетертых, сдавленных обломков, как аллохтона, так и автохтона со следами тектонических перемещений. Часто меланж образуется в охиолитовой ассоциации, что значительно облегчается увеличением объема ультраосновных пород при их серпентинизации, которые действуют как "смазка", улучшающая скольжение обломков относительно друг друга. Следует заметить, что олистострома может сформироваться за счет меланжа и, наоборот, меланж может развиваться по олистостроме.

Строение поверхности сместителя может быть разным. В простейших случаях он представлен плоскостью, по которой происходит смещение пород. Нередко на такой плоскости развиваются так называемые *зеркала скольжения* или трения - блестящие, как бы отполированные поверхности с бороздами и уступчиками отрыва, указывающие направление перемещения. Бороздки возникают в том случае, если в плоскость разрыва попадают мелкие обломки пород, которые, вдавливаясь, оставляют на плоскости царапину, бороздку, исчезающую, когда обломок разрушится. В более крупных разрывах в зоне сместителя образуются брекции трения или *милониты* (греч. "милос"-мельница), представляющие собой перетертые обломки пород крыльев. Как правило, благодаря проницаемости для растворов милониты ожелезнены, окремнены, по ним развивается кальцит и т.д. Мощность милонитов может быть разной: от первых сантиметров до многих сотен метров.

## 1.6 Лекции № 6,7 ( 4 часа).

**Тема:** Магматизм. Основные формы магматизма.

### 1.6.1 Вопросы лекции:

- 1.Понятие о магме и магматизме.
- 2.Эффузивный магматизм - вулканизм. Интрузивный магматизм.
- 3.Типы магм. Значение магматизма в формировании и развитии земной коры.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1.Понятие о магме и магматизме.

Магматизмом называют явления, связанные с образованием, изменением состава и движением магмы из недр Земли к ее поверхности. **Магма** представляет собой природный высокотемпературный расплав, образующийся в виде отдельных очагов в литосфере и верхней мантии (главным образом, в астеносфере). Основной причиной плавления

вещества и возникновения магматических очагов в литосфере является повышение температуры. Подъем магмы и прорыв ее в вышележащие горизонты происходят вследствие так называемой **инверсии** плотностей, при которой внутри, литосфера появляются очаги менее плотного, но мобильного расплава. Таким образом, магматизм — это глубинный процесс, обусловленный тепловым и гравитационным полями Земли.

## 2. Эффузивный магматизм - вулканизм. Интрузивный магматизм.

В зависимости от характера движения магмы различают магматизм интрузивный и эффузивный. При **интрузивном** магматизме (**плутонизме**) магма не достигает земной поверхности, а активно внедряется во вмещающие вышележащие породы, частично расплавляя их, и застывает в трещинах и полостях коры. При **эффективном** магматизме (**вулканизме**) магма через подводящий канал достигает поверхности Земли, где образует вулканы различных типов, и застывает на поверхности. В обоих случаях при застывании расплава образуются магматические горные породы. Температуры магматических расплавов, находящихся внутри земной коры, судя по экспериментальным данным и результатам изучения минерального состава магматических пород, находятся в пределах 700—1100°C. Измеренные температуры магм, излившихся на поверхность, в большинстве случаев колеблются в интервале 900—1100°C, изредка достигая 1350 °C. Более высокая температура наземных расплавов обусловлена тем, что в них протекают процессы окисления под воздействием атмосферного кислорода.

С точки зрения химического состава магма представляет сложную многокомпонентную систему, образованную в основном кремнеземом  $\text{SiO}_2$  и веществами, химически эквивалентными силикатам Al, Na, K,Ca. Преобладающим компонентом магмы является кремнезем. В природе существует несколько типов магм, отличающихся по химическому составу. Состав магм зависит от состава материала, за счет плавления которого они образуются. Однако при подъеме магмы происходит частичное плавление и растворение вмещающих пород земной коры, или их **ассимиляция**; при этом первичный ее состав меняется. Таким образом, состав магм изменяется в процессе как внедрения их в верхние горизонты коры, так и кристаллизации. На больших глубинах в магмах в растворенном состоянии присутствуют летучие компоненты — пары воды и газов ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ , и др.) В условиях высоких давлений их содержание может достигать 12 %. Они являются химически очень активными, подвижными веществами идерживаются в магме только благодаря высокому внешнему давлению.

В процессе подъема магмы к поверхности, по мере снижения температур и давлений происходит распад системы на две фазы — расплав и газы. Если движение магмы медленное, ее кристаллизация начинается в процессе подъема, и тогда она превращается в

трехфазную систему: газы, расплав и плавающие в нем кристаллы минералов. Дальнейшее охлаждение магмы приводит к переходу всего расплава в твердую фазу и к образованию магматической породы. При этом летучие компоненты отделяются и основная их часть удаляется по трещинам, окружающим магматическую камеру, или непосредственно в атмосферу в случае излияния магмы на поверхность. В затвердевшей породе сохраняется лишь незначительная часть газовой фазы в виде мельчайших включений в минеральных зернах. Таким образом, состав исходной магмы определяет состав главных, породообразующих минералов сформировавшейся породы, но не является строго идентичным ему в отношении содержания летучих компонентов.

Процессы магматизма играют исключительно важную роль в формировании земной коры, поставляя в нее материал из мантии, наращивая кору и приводя к перераспределению материала внутри самой коры. Магматические породы составляют основную часть земной коры, занимая более 90% ее объема. Характерными их особенностями являются массивное строение и залегание в большинстве случаев в виде несогласных, резко ограниченных тел, активно контактирующих с вмещающей осадочной толщей. Наличие таких активных контактов связано с температурным воздействием магмы на окружающие породы и с деформацией пород кровли при подъеме магмы.

### 3. Значение магматизма в формировании и развитии земной коры.

Ученые давно отказались от представления о том, что каждая магматическая порода образуется из своей особой родоначальной магмы. Существование определенных магматических ассоциаций свидетельствует о том, что разные породы, входящие в состав одной ассоциации, имеют общее происхождение и образуются из одной родоначальной, или первичной магмы.

Существование первичной **базальтовой** магмы подтверждается как чрезвычайно широким распространением базальтов, развитых на участках коры с совершенно различным строением и историей развития, так и повторением во всех геологических периодах излияния базальтовых магм, практически не меняющихся по составу. Отсюда следует, что базальтовая магма развита повсеместно. Она образуется в верхней мантии, главным образом в астеносфере, где соотношения между температурой и давлением таковы, что вещество в ней находится в состоянии, близком к состоянию, соответствующему точке плавления. Небольшое повышение температуры на отдельных участках в результате выделения радиогенного тепла приводит к восстановлению очагов плавления, или очагов первичной магмы. При движении этой магмы вверх ее состав постепенно изменяется в результате обогащения наиболее легкими и легкоплавкими компонентами. Таким образом, базальтовая магма представляет собой наиболее легкую

выплавку, или фракцию, вещества астеносферы. Существование первичной **гранитной** магмы подтверждается очень широким распространением гранитов, их самостоятельным, независимым от базальтов залеганием и, главное, невозможностью образования больших масс гранитов за счет дифференциации базальтовой магмы. Очаги гранитной магмы возникают в пределах коры на глубинах 10—30 км. По современным представлениям, гранитная магма образуется в результате переплавления осадочных и метаморфических пород. Гранитная и базальтовая магмы различаются не только по химическому составу, но и по физическим свойствам. Кислые магмы более легкие, вязкие, насыщены газами. Основные магмы более тяжелые (по сравнению с кислыми), подвижные и содержат меньшее количество газов.

Мagma – это силикатный расплав, содержащий флюиды, возникающий в астеносфере или земной коре под действием внутреннего тепла Земли. Интрузивный магматизм связан движением и застыванием магмы ниже поверхности Земли. По мере движения магмы к поверхности Земли изменяется ее температура, давление, состав флюидов, что приводит к непрерывному изменению состава магмы дифференциации. Различают два главных механизма дифференциации магмы – ликвация и кристаллизационно-гравитационная дифференциация (согласно реакционному ряду Боэна).

Внедряясь во вмещающие породы и застывая, магматический расплав образует согласные и несогласные (секущие) интрузии. Взаимодействие интрузий с вмещающими породами выражается в дегидратации и перекристаллизации последних под действием тепла, а также коренном изменении состава под действием горячих газов (пневматолитовые процессы) или растворов (гидротермальные процессы).

Магматические горные породы слагают большую часть океанической и континентальной коры, играют главную роль в эволюционном развитии и приращении континентальной коры на океанических окраинах, являются исходным материалом для образования осадочных и метаморфических пород. С магматическими породами связаны месторождения никеля, кобальта, меди, железа, хрома, платиноидов, редкоземельных элементов, строительных и облицовочных материалов.

## **1.7 Лекции № 8,9 ( 4 часа).**

**Тема:** Метаморфизм. Основные факторы метаморфизма.

### **1.7.1 Вопросы лекции:**

- 1.Понятие метаморфизма.
- 2.Основные факторы метаморфизма.

3. Полезные ископаемые, связанные с метаморфическими породами и процессами метаморфизма.

### **1.7.2 Краткое содержание вопросов:**

#### 1. Понятие метаморфизма.

**Метаморфизм** - процесс твердофазного минерального и структурного изменения горных пород под воздействием температуры и давления в присутствии флюида.

Выделяют *изохимический* метаморфизм — при котором химический состав породы меняется несущественно, и *не изохимический метаморфизм (метасоматоз)* для которого характерно заметное изменение химического состава породы, в результате переноса компонентов флюидом.

По размеру ареалов метаморфических пород, их структурному положению и причинам метаморфизма выделяются:

- Региональный метаморфизм который затрагивает значительные объемы земной коры, и распространен на больших площадях.
- Метаморфизм сверхвысоких давлений
- Контактовый метаморфизм (локальный) приурочен к магматическим интрузиям и происходит от тепла остывающей магмы.
- Динамометаморфизм происходит в зонах разломов, связан со значительной деформацией пород.
- Импактный метаморфизм (ударный) происходит при ударе метеорита о поверхность планеты.
- Автометаморфизм.

#### 2. Основные факторы метаморфизма.

Основными факторами метаморфизма являются температура, давление и флюид.

**Температура** - важнейший фактор метаморфизма, влияющий на процессы кристаллообразования и определяющий состав минеральных ассоциаций. Метаморфические преобразование горных пород происходит в температурном интервале 250 -1100°C. Именно на этом рубеже, в связи с резким возрастанием скоростей химических реакций, проводится граница между диагенезом и метаморфизмом.

**Флюидом** называются летучие компоненты метаморфических систем. Это в первую очередь вода и углекислый газ. Реже роль могут играть кислород, водород, углеводороды, соединения галогенов и некоторые другие. В присутствии флюида область устойчивости многих фаз (особенно содержащих эти летучие компоненты) изменяются. В их присутствии плавление горных пород начинается при значительно более низких температурах.

### 3. Полезные ископаемые, связанные с метаморфическими породами и процессами метаморфизма.

Метаморфогенных месторождений разделяется на две группы: метаморфизованных и метаморфических образований. Метаморфизованные месторождения подверглись изменению одновременно с окружающими их породами в такой степени, что метаморфические признаки в форме, строении и составе тел полезных ископаемых оказываются резко доминирующими. Метаморфические месторождения возникли вновь в процессе метаморфизма в связи с перегруппировкой минерального вещества метаморфизуемых пород.

#### Регионально метаморфизованные месторождения

В классе регионально метаморфизованных месторождений известны месторождения железа, марганца, свинца, цинка, меди, золота, урана, фосфора; все они залегают среди докембрийских, отчасти нижнепалеозойских метаморфических пород. В качестве примеров ниже кратко охарактеризованы: 1) железорудные месторождения Кривого Рога, 2) марганца в Бразилии, Индии, Африке, Австралии и других странах, 3) свинца и цинка месторождения Брокен Хилл в Австралии, 4) золота и урана месторождения Витватерсrand в ЮАР, 5) апатитов в Сибири.

Регионально метаморфизованные месторождения железистых руд широко распространены среди докембрийских, отчасти нижнепалеозойских пород всех девяти платформ земного шара. Эти руды составляют подавляющую часть мировых запасов железа и являются главным источником его на Мировом рынке. Среди них выделяются три разновидности — железистые кварциты, такониты и итабириты.

К месторождениям железистых кварцитов, помимо Кривого Рога, относятся известные месторождения Курской магнитной аномалии, Оленегорское на Кольском полуострове, Чаро-Токкинское в Читинской области, Хинганское на Дальнем Востоке и др. К месторождениям таконитов принадлежат низы некоторых железорудных формаций КМА, Кривого Рога, а также, районов Малого Хингана. Они представляют собой грубополосчатые руды, в состав которых, кроме магнетита и кварца, входят куммингтонит, гранат, и амфибол, что позволяет относить их к амфиболовой фации метаморфизма,

К месторождениям итабиритов относятся некоторые залежи Австралии, Бразилии, Венесуэлы, Швеции, Норвегии. Их состав определяется тонкополосчатым чередованием гематита, магнетита и кварца с небольшим количеством амфиболя, граната, пироксена, полевого шпата, что свидетельствует о их принадлежности также к амфиболовой фации метаморфизма.

Марганцевые месторождения Индии и других стран. Среди метаморфизованных первично-осадочных месторождений марганцевых руд выделяются две разновидности. К одной из них принадлежат месторождения, сформированные вследствие изменения первичных окисных руд, а к другой — месторождения, образовавшиеся в связи с метаморфизмом опал-карбонатных марганцевых руд. В первой группе в свою очередь намечаются месторождения слабой и сильной степени метаморфизма. Примером относительно слабо метаморфизованных первично-осадочных окисных руд марганца могут служить месторождения Центрального Казахстана, руды которых сложены главным образом браунитом и гаусманитом. Интенсивно метаморфизованные залежи первичных окисных руд распространены в Индии, Бразилии, Австралии, странах Западной и Южной Африки. Рудные тела этих месторождений, в составе которых доминируют кварц, марганцевые гранаты, марганцевые пироксены и амфиболы, залегают среди гнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов и мраморов (гондитовый тип Индии).

Апатиты Сибири. В южном Прибайкалье известны глубокометаморфизованные фосфорит содержащие пласти докембрийских геосинклинальных пород. Согласно Б. Гиммельфарбу и М. Сахаровой, площадь месторождения Слюдянка сложена интенсивно дислоцированными амфиболовыми и пироксеновыми гнейсами, биотит-полевошпатовыми сланцами с пачками мраморов и кварц-диопсидовых пород.

#### Контактovo-метаморфизованные месторождения

В классе контактово-метаморфизованных могут находиться разнообразные месторождения, не всегда легко выделяемые среди эндогенных скарновых образований, развитых в интрузивных ореолах. В качестве их примеров будут описаны некоторые месторождения железа, графита, корунда и наждака.

Железные руды. Осадочные пласти окисных и карбонатных руд под воздействием прорывающих их интрузий преобразуются, приобретая черты сходства с согласными залежами скарновых месторождений железа. К подобного рода контактово-метаморфизованным месторождениям железных руд некоторые геологи относят месторождения Южной Якутии и Балеевское в Забайкалье, Ковары в Польше, Остеродер и некоторые участки Зигерланда в Германии, Мансье в Швеции.

На месторождении Бивабик в США метаморфизующему воздействию габбрового массива подверглись пласти, в состав которых входят кварц, гематит, сидерит, анкерит и водные силикаты железа. При этом произошло: 1) исчезновение сидерита, анкерита и водных силикатов, 2) восстановление гематита до магнетита, 3) образование грюнерита-куммингтонита, сопровождаемых пироксенами и фаялитом. Своеобразно месторождение самородного железа Овифак в Гренландии, возникшее в контактовом ореоле базальтов за-

счет преобразования скоплений сульфидного, карбонатного и окисного железа в присутствии углерода, поглощенного магмой из угольных пластов.

Месторождения графита. Графитовые месторождения возникают в ореоле интрузий, рвущих пласти каменного угля. Их примером может служить Курейское месторождение, генетически связанное с пластами Каменного угля Тунгусского бассейна Красноярского края позднепалеозойского возраста, подвергшихся сильному kontaktовому метаморфизму под воздействием Сибирских траппов.

Месторождения корунда и наждака. Эти месторождения возникают вследствие kontaktового влияния интрузий на залежи бокситов. При слабом метаморфизме образуются диаспоровые породы, а при более сильном метаморфизме бокситы переходят в наждак, который состоит из корунда, шпинели, магнетита, пирита, андалузита, диаспора и некоторых других минералов. Такие месторождения известны в Греции.

Прочие месторождения. Осадочные фосфориты Караганда в Казахстане на контакте с прорывающими их гранита-ми превращены в апатиты. В месторождении Нагпур в Индии окисные руды марганца при таких же обстоятельствах преобразованы в силикатные. В kontaktовых ореолах за счет песчано-сланцевых пород возникают роговики, используемые как строительные и огнеупорные материалы. По минеральному составу выделяется десять классов роговиков.

### Метаморфические месторождения

Метаморфические месторождения возникли вследствие перекристаллизации, собирательной кристаллизации и перегруппировки вещества тех толщ пород, в которых они обнаруживаются. В отличие от метаморфизованных, они образованы не за счет ранее существовавших месторождений, а в результате метаморфизма горных пород. При этом метаморфизм совершился с участием того или иного количества летучих соединений, но без привноса вещества из-за пределовrudовмещающих толщ пород, при высоких температурах и давлении, но недостаточных для выборочного или полного переплавления пород. Типичными метаморфическими образованиями являются многочисленные месторождения мраморов, возникшие при изменении известняков, месторождения кварцитов, образовавшиеся при метаморфизме песчаников и месторождения кровельных сланцев, сформировавшиеся при низкой ступени метаморфизма глинистых сланцев. К фации зеленых сланцев принадлежат метаморфические месторождения асбеста, и амфиболовой фации — флогопита, а также кианита, наждака и графита, к гранулитовой — граната, к эклогитовой — рутила (титана). Некоторые геологи месторождения золота в породах докембрия относят к метаморфическим. Особый случай представляет

возникновение месторождений алмазов вследствие ударного метаморфизма при падении на землю метеоритов.

Амфибол-асбестовые месторождения. Согласно Ю. Андрееву, месторождения щелочно-амфиболовых асбестов встречаются: 1) в виде родусит-асбеста среди глинисто-доломитовых толщ; 2) в виде крокидолита в железистых и яшмовидных кварцитах; 3) в виде магнезиоарфведсонита в серпентинитах; 4) в той же минеральной форме среди доломитов и приуроченных к ним магнетитовых скарнов. Все они располагаются в толщах пород, претерпевших региональный метаморфизм низкой, обычно зеленокаменной фации. Минеральный и химический состав залежей отвечает составу вмещающих пород, что позволяет рассматривать их в качестве продуктов метаморфической перегруппировки элементов вмещающих пород под воздействием щелочных растворов. Не исключено, что в некоторых случаях эти растворы имеют магматогенное происхождение.

Флогопитовые месторождения. Известны в архейских метаморфических комплексах Алданского щита. Проявляются в форме согласных тел флогопитоносных пород на контакте алюмосиликатных и карбонатных пород, пластово-секущих тел аналогичного состава среди гнейсов, сланцев и гранитов, а также в виде жил и штокверков, сложенных диопсидом, паргаситом, флогопитом и кальцитом в алюмосиликатных породах и флогопитоносных диопсидовых породах первых двух типов. Диопсидовые породы рассматриваются как магнезиальные скарноиды, возникшие на контакте алюмосиликатных и карбонатных пород на прогрессивной стадии метаморфизма гранулитовой фации при температуре 800—700°C. Флогопиты сформировались позднее на регressiveвой стадии метаморфизма амфиболитовой фации при температуре 600—550°C.

Кианитовые и силлиманиновые месторождения. Три модификации состава  $A12SiO_5$  представлены метаморфическими минералами амфиболитовой фации — андалузитом, кианитом и силлиманином. По данным Н. Елисеева, андалузит устойчив при высокой температуре и низком давлении, кианит — при средней температуре и высоком давлении, силлиманин — при высокой температуре и высоком давлении. Совместное нахождение всех трех минералов при региональном метаморфизме оказывается возможным в связи с тем, что кривая деградации лежит левее тройной точки.

Кианитовые и силлиманиновые месторождения известны на Кольском полуострове, в Якутии (Чайнытское), Карелии, Северной Индии и в других районах мира. Наиболее полно изученное месторождение находится в Карелии среди глубоко метаморфизованных докембрийских пород свиты Кейв, превращенных в гнейсы, слюдяные, гранатовые,

ставролитовые, кианитовые и другие сланцы, амфиболиты, мраморы и доломиты, развитые непрерывной полосой протяжением около 200 км и шириной до 10 - 14 км.

Месторождения наждака. Метаморфические месторождения наждака известны среди древних метаморфических пород амфиболовой фации Урала (Прииртышская группа). Штокообразные тела этих месторождений залегают среди мраморизованных известняков и состоят из корунда, хлоритоида и пирита, с примесью магнетита, рутила, диаспора, апатита, биотита и серицита. Рассматриваются они как продукты воздействия на карбонатные породы глиноземсодержащих десилицированных химически активных водных растворов метаморфического происхождения.

Месторождения графита известны среди древних метаморфических комплексов пород преимущественно амфиболовой фации Украины, Урала, Восточного Саяна, Дальнего Востока и других районов. Представляют собой полосы гнейсов и сланцев, содержащих рассеянную вкрапленность кристаллического графита, варьирующего в пределах 5 - 15%. Его образование связывается с региональным метаморфизмом толщ пород, содержащих первично-осадочное битуминозное вещество.

Месторождения горного хрусталя зеленосланцевой фации прогрессивной стадии метаморфизма описаны в Восточной Сибири, а той же фации регрессивной стадии — в Якутии, Средней Азии, на Урале.

Месторождения граната. Переход от амфиболитовой к гранулитовой фации сопровождается исчезновением гидроксилсодержащих минералов, в частности слюд. Вместо слюд в породах гранулитовой фации, согласно Н. Елисееву, образуются гранат и ортоклаз. При этом за счет биотита и мусковита возникает альмандин, а за счет флогопита при более высокой температуре формируется пироп. Вообще состав граната зависит от температуры метаморфических преобразований. Метаморфические гранатовые месторождения среди кристаллических, обычно ставролит-полевошпатовых сланцев известны на Урале, в Карелии и других районах распространения пород средних ступеней метаморфизма.

Месторождения, титана. В. Вертушковым месторождение титана описано среди амфиболитов Урала. Оно возникло вследствие метаморфизма пород габброидного состава в условиях эклогитовой фации. При этом большая часть силикатов очистилась от изоморфной примеси титана и последний обособился в форме самостоятельных минералов рутила и ильменита. Вследствие собирательной кристаллизации титановых минералов рутил и ильменит на ранней стадии метаморфизма образовали заметные индивидуальные стяжения вкрапленных руд.

Месторождения золота. Золотое месторождение Хоумстейк в Северной Америке, по данным Д. и Р. Роя, основанным на детальном анализе вариаций дейтерия, изотопов углерода и серы, мольных отношений CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, содержании CH<sub>4</sub> в жидкых включениях рудообразующих минералов, принадлежит к метаморфическим образованиям.

Месторождения алмазов. Эти месторождения возникают при стремительном и огромном возрастании давления и температуры вследствие соударения с Землей крупных метеоритов, создающих метеоритные кратеры или астроблемы. Пиковые давления при этом могут достичь нескольких сотен тысяч мегапаскалей, а температуры 2000°C и более.

#### Ультраметаморфизм и полезные ископаемые

На ранней стадии ультраметаморфизма, в связи с избирательным переплавлением исходных пород, среди гнейсов возникают пегматиты, иногда содержащие промышленные скопления мусковита, биотита и минералов редких элементов, описанные в главе о пегматитовых месторождениях.

### **1.8 Лекция № 10 (2 часа).**

**Тема:** Глобальные геопроцессы и нелинейность

#### **1.8.1 Вопросы лекции:**

- 1.Земля как открытая система.
- 2.Нелинейная геофизическая модель геологической среды.
- 3.Нелинейная сейсмология.

#### **1.8.2 Краткое содержание вопросов:**

##### 1.Земля как открытая система.

О нелинейных диссипативных открытых системах в последние десятилетия написано огромное количество книг и статей. Сегодня уже доказано, что Земля во всех сферах существования живой и неживой материи эволюционирует по законам и критериям, присущим такого рода системам. Исторически сложилось так, что геологическая история Земли, ее эндогенная и тектоническая активности практически всегда рассматриваются с классических позиций физики и химии - законов термодинамики, механики, фазовых и химических равновесий. И хотя с самого начала физико-химического осмысливания жизни нашей планеты было известно, что с глубиной в ее недрах меняются термобарические условия - растет давление и температура, для каждого момента времени и для ограниченного объема состояние вещества принималось не просто стационарным, а равновесным, что позволяло, как сказано было выше, использовать положения классической физики и химии.

В этом направлении накоплены большие объемы экспериментальной и теоретической информации. Были установлены фазовые диаграммы практически всех минералов и их ассоциаций в координатах Р-Т при различных окислительно-восстановительных условиях, включая твердофазовые равновесия и области плавления. Установлены основные закономерности в петрофизических свойствах минералов и горных пород, области хрупких и пластических деформаций при различных режимах нагружения. В этих квазиравновесных (или стационарных) условиях были оценены величины возможных процессов и воздействий на состояние земных недр и их эффективность. Прогнозные оценки при поиске различных месторождений или в предсказаниях природных катастроф также базируются на наших знаниях, относящихся к выше упомянутым условиям.

С этих позиций многие отдают предпочтение тем процессам, которые являются энергетически достаточно мощными по сравнению с теми, которые характеризуют как "небольшие добавки". Например, разницу в приливном воздействии Солнца на центр Земли и центр масс системы Земля-Луна многие исследователи считают недостаточной для объяснения причины целого ряда периодических событий на Земле и их пространственного перераспределения в теле планеты и на ее поверхности. Практически не учитывается возможная роль энергетически слабых волновых процессов в Земле (низкочастотные колебания) на изменение физического состояния природной среды. Роль флюидов (и прежде всего воды) в изменении прочностных свойств горных пород земной коры только в последние годы стала признаваться.

Но, если Земля является принципиально неравновесным в физико-химическом отношении телом, то закономерности, следуемые из классической физики и химии, неизбежно должны нарушаться. Все тело Земли находится в меняющемся во времени и пространстве градиентном поле температуры и давления, сильно неоднородно по химическому составу, а верхняя оболочка - литосфера находится в неоднородном и переменном во времени поле напряжений и деформаций. Ни у кого уже нет сомнений в том, что недра планеты находятся в постоянном движении. В области пластичности можно ожидать конвективных течений, обусловленных не только градиентом вязкости в поле температуры и давления (и, возможно, химического потенциала), но и движением планеты, как целого тела. На это накладывается возмущение приливного воздействия в системе Солнце-Земля-Луна. Наряду с такого рода движением глубинных масс многими исследователями рассматривается субвертикальный подъем с разных глубин (вплоть от границы ядро-мантия) горячих, химически отличных от окружающей среды, масс - плюмов, несущих информацию о ранних стадиях формирования нашей планеты. При этом

следует иметь в виду, что наряду с сильной дифференцированностью по глубинной расслоенности земных недр, сейсмологические данные указывают на существование горизонтальных неоднородностей в различных по объемам и линейным размерам областях Земли. В геологических масштабах времени глубинная динамика движений оказывается по разным оценкам исключительно высокой — несколько см/год.

## 2. Нелинейная геофизическая модель геологической среды.

Нелинейность — это свойство процесса, выражющееся в отрицании суперпозиции: результат суммы воздействий на систему не равен сумме отдельных воздействий. Это надо понимать широко: воздействия могут быть сейсмические, электрические, деформационные и другие; нелинейность, таким образом, предполагает как «самовзаимодействие», так и взаимодействие процессов различной природы, формирование сложных «цепей» взаимодействий, охватывающих связями, как различные геофизические поля, так и процессы, протекающие в разных земных сферах.

Нелинейные эффекты, проявляющиеся в перекрестных взаимодействиях различных полей — сейсмо-гидрогеологические, сейсмо-электрические, и многие другие начали активно изучаться в конце 70-х гг.

Нелинейность физических характеристик горных пород является проявлением многих характеристик и состояния минерального композита, проявляющаяся, прежде всего, в виде сильной чувствительности упругих и электрических свойств к внешним воздействиям — напряжениям (тензочувствительность), сейсмическим вибрациям (вибровчувствительность), электрическому полю (электрочувствительность).

Энергонасыщенность, проявляющаяся в геофизической активности горных пород, является движущим фактором геологической эволюции, непрерывной и повсеместной. Сейсмическая и электромагнитная эмиссия обладают ярко выраженными свойствами нелинейных процессов, способностью к периодической самоорганизации и хаотизации, характерному поведению в периоды приближения к катастрофе и выхода из нее. Мир активных нелинейных геофизических явлений много ярче и разнообразнее пассивных нелинейных явлений. Активность среды, проявляющаяся в виде высоких концентраций потока мощности вблизи индивидуальных эмиссионных источников, порождает интенсивное взаимодействие эмиссионных и внешних полей, сильные нелинейные трансформации последних.

## 3. Нелинейная сейсмология.

Среди нелинейных процессов, протекающих в реальной среде, особое место принадлежит сейсмичности, акустической и сейсмической эмиссии. Сейсмичность, т.е. поток землетрясений, является проявлением геологической эволюции планеты,

сопровождающим «сейсмическое течение горных масс», фазовых и геохимических превращений вещества. Сейсмическая и акустическая эмиссия – это непрерывный шумовой процесс, связанный с огромным числом микроземлетрясений, тресов, микротресков, сопутствующих практически всем геологическим процессам.

И сейсмичность, и сейсмоакустическая эмиссия являются проявлением метастабильного состояния вещества в недрах Земли и обладают чрезвычайно высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Сейсмология - наука о распространении сейсмических волн в недрах Земли. Только с помощью сейсмологии удалось составить картину глубинного строения земного шара (кора, мантия, внешнее и внутреннее ядро). Также сейсмология занимается землетрясениями, движениями платформ, мониторингом разработок рудных месторождений и пр. Сейсмология – это наука, занимающаяся измерениями и анализом всех движений, которые регистрируются сейсмографами на поверхности твёрдой Земли. Своим становлением в Российской империи сейсмология во многом обязана энтузиасту и популяризатору этой науки Александру Петровичу Орлову. Согласно статье профессора Б. К. Поленова опубликованной в «ЭСБЕ», А. П. Орлов «долго был в России единственным специалистом в этой области геологии». Орлов неустанно добивался создания постоянных сейсмологических станций, для наблюдения за сейсмоактивностью в России и эту идею он пропагандировал в течение всей жизни. В значительной степени его стараниями в 1880-х годах, при Императорском Русском географическом обществе была создана сейсмическая комиссия. Это событие можно по праву считать днём рождения российской сейсмологии.

Основная задача сейсмологии состоит в изучении внутреннего строения Земли. Поэтому очень важно знать, как отклонения от однородности влияют на распространение сейсмических волн. По существу все прямые данные о внутреннем строении Земли, имеющиеся в нашем распоряжении, получены из наблюдений за распространением упругих волн, возбуждаемых при землетрясениях. Землетрясения можно рассматривать как специфические колебательные движения земной коры, характеризующиеся небольшой длительностью периодов (от десятков минут для собственных колебаний Земли до долей секунд). Под сейсмичностью подразумевается географическое распределение землетрясений, их связь со строением земной поверхности и распределение по магнитудам (или энергиям).

Существует также шахтная сейсмология, которая занимается мониторингом сейсмичности в районе разрабатываемого рудного тела, и прогнозированием и предупреждением горных ударов для обеспечения безопасности горных работ.

## **1.9 Лекции № 11,12 (4 часа).**

**Тема:** Геодинамические модели

### **1.9.1 Вопросы лекции:**

- 1.Механизм геодинамики оболочек планеты Земля.
- 2.Пульсационные модели.
- 3.Плюмтектоническая модель.
- 4.Новая теория глобальной геодинамики в Земле.

### **1.9.2 Краткое содержание вопросов:**

#### 1.Механизм геодинамики оболочек планеты Земля.

**Геодинамика** - наука о глубинных силах и процессах, возникающих в результате эволюции Земли как планеты и определяющих движение масс вещества и энергии внутри Земли и в её внешних твёрдых оболочках. Объекты исследования геодинамики недоступны непосредственному изучению, и о них удаётся судить по косвенным признакам, теоретическим построениям и результатам их проявления на поверхности Земли. Поэтому геодинамика тесно связана с другими науками о Земле и прежде всего с геофизикой, геохимией, петрологией, тектоникой; она опирается на общие законы физики и химии, широко использует сведения по планетологии. Геодинамика как наука начала обособливаться от других наук о Земле в 1950-е гг. У её истоков стояли немецкий учёный А. Вегенер, американские учёные А. Холмс, Х. Хесс. Большой вклад в развитие геодинамики внесли советские учёные В.А. Магницкий, В.В. Белоусов, В.Н. Жарков, П.Н. Кропоткин, О.Г. Сорохтин, Е.В. Артюшков и др. При изучении природы глубинных процессов очень важны исходные теоретические концепции об образовании и эволюции планет Солнечной системы. О природе глубинных процессов можно судить по их проявлению в близповерхностных структурах земной коры и в магматизме. Исходя из построений фиксистов о неподвижности материков, геодинамическая интерпретация предусматривала главным образом вертикальный подъём разуплотнённых за счёт радиоактивного разогрева масс вещества - астенолитов (гипотезы В.В. Белоусова и др.; см. также Астеносфера), которые считались причиной тектонических деформаций и магматизма. Возрождение в 1960-х гг. мобилистских представлений о дрейфе континентов и создание теории тектоники литосферных плит привели к новому толкованию природных глубинных процессов. В качестве движущего механизма перемещения литосферных плит рассматриваются конвективные течения в мантии Земли. В соответствии с одной точкой зрения (американские учёные У. Эльзассер и др.), конвективные течения охватывают только верхнюю мантию, а сама конвекция связана с выделением радиоактивного тепла. Согласно другой гипотезе (А.С. Монин, О.Г.

Сорохтин, Е.В. Артюшков), предполагается, что конвекция охватывает всю мантию Земли и вызывается выделением энергии вследствие физико-химической реакции, обособления ядра Земли и высвобождения при этом более лёгкого материала, всплывающего вверх. Такая конвекция по своей природе - химико-плотностная, или гравитационная. Если в Земле устанавливается одноячеистая конвекция, состоящая из одной восходящей и одной нисходящей ветвей, то все континенты собираются вместе над нисходящей ветвью, образуя единый суперконтинент - Пангею, существовавшую в позднем палеозое. Если конвективные течения распадаются на много ячей, то происходит раскол континентов и образование новых океанов, например, как это было в мезозойское время, когда возникли Атлантический и Индийский океаны.

## 2. Пульсационные модели.

Геотектонические гипотезы, предполагающие сокращение, расширение или попеременное изменение радиуса Земли (пульсационная гипотеза В.А. Обручева и американского геолога У. Бачера), также составляют объект исследований геодинамики, рассматривающей возможные физические причины таких вариаций размера Земли. Геодинамика исследует механизм движения литосферных плит, изучая динамические условия (разрыв материковых глыб в зонах растяжения, надвиги, поддвиги и складчатость в зонах сжатия), возникающие вдоль их границ и связанные с ними тектонические (в том числе сейсмические) и магматические процессы. При этом используются данные палеомагнетизма (позволяющие определить ту географическую широту и ориентировку, которую имели глыбы земной коры в геологическом прошлом), сейсмологии, тектоники и результаты измерения современных напряжений в земной коре. При изучении движений литосферных плит пользуются законами сферических геометрий. Зная параметры движения плит, можно предсказать, какие события и с какой интенсивностью, в частности какой магматизм и какие тектонические деформации, будут происходить на границах плит, и прогнозировать картину распределения материков через десятки млн. лет в будущем.

Согласно современным представлениям, в основу которых положена космогоническая гипотеза О. Ю. Шмидта, Земля (как и остальные планеты Солнечной системы) образовалась путем акреции вещества холодного протопланетного газопылевого облака, некогда окружавшего Солнце. Такой процесс должен был привести к образованию первоначально достаточно однородной по составу и сравнительно холодной Земли; по оценкам В. С. Сафонова (1969) средняя температура разогрева первичной Земли в результате соударения самых крупных кусков протопланетного облака (планетеземалей) не могла подняться выше 1000-1200° С.

Сейчас наша планета расслоена на оболочки. Важнейшие из них - литосфера, мантия, простирающаяся до глубины почти 2900 км, и тяжелое ядро, разделенное на жидкое внешнее и, вероятно, застывшее, но достаточно горячее внутреннее.

Согласно последним оценкам А. С. Монина, О. Г. Сорохтина и др. (1975, 1979) расслоение нашей планеты на тяжелое ядро и более легкую мантию - мощнейший источник выделения тепла внутри Земли. С момента ее образования и до настоящего времени этот энергетический источник дал (1,5-1,6)- 1038 эрг, тогда как суммарная величина энергии, выделившейся за счет распада радиоактивных источников за все время жизни Земли, оценивается в (0,4 - 0,9)-1038 эрг (оценка по нижнему пределу представляется нам более правдоподобной). Тепловыделение при замедлении вращения за счет приливного трения оценить трудно. Оценка по верхнему пределу дает величину не более 0,2-1038 эрг, при этом основная доля всей приливной энергии, вероятно, выделилась за первые полмиллиарда лет жизни Земли. Для сравнения заметим, что сейчас полная кинетическая энергия вращения Земли вокруг своей оси лишь немногим более 0,02- 1038 эрг.

Эти энергетические оценки позволяют предположить, что избыточное тепло выносится с помощью конвекции при образовании новой океанической литосферы в рифтовых трещинах (С. А. Ушаков, И. И. Федынский, 1973). Или, попросту говоря, перемещение ансамбля литосферных плит (а как следствие - дрейф материков в составе разных плит) есть результат спасения Землей себя от перегрева теплом, выделяющимся при гравитационной дифференциации ее недр.

Считая процесс выделения земного ядра главным движущим механизмом эволюции Земли, О. Г. Сорохтин (1974, 1979) предложил современную химическую модель состава и глобальной эволюции нашей планеты. Плотность образцов различных материалов, сжатых взрывами до давлений, существующих в центральной области Земли, сравнивалась с плотностью земного ядра, вычисленной по геофизическим данным. Из такого сопоставления было сделано наиболее вероятное заключение, что ядро на 85-90% состоит из железа. Легкой добавкой к нему в жидкому внешнем ядре, по-видимому, служит кислород в соединении  $Fe_2O$  (теоретические оценки Сорохтина показали, что при высоких давлениях возможно образуется окисел  $Fe_2O$ , который при таких давлениях не в состоянии кристаллизоваться). Жесткое внутреннее ядро, как и железные метеориты, вероятно, состоит из сплава железа с никелем. В современном земном ядре сосредоточена почти треть всей массы Земли, а выделение из первичной однородной мантии такого объема железа и кислорода не могло не повлиять самым существенным образом на глобальное развитие всей нашей планеты.

Наличие резкой плотностной границы между мантией и ядром (разность плотностей около 4 г см<sup>-3</sup>) позволяет предполагать, что процесс дифференциации мантийного вещества в гравитационном поле Земли протекает лишь в тонком пограничном слое на поверхности ядра. После удаления в ядро части тяжелой фракции (окислов железа) облегченное мантийное вещество всплывает вверх. Таким образом, в мантии Земли образуются мощные восходящие и нисходящие потоки, замыкание которых в непрерывные конвективные ячейки происходит путем горизонтальных течений вверху - в астеносфере и внизу - в переходном слое на поверхности ядра.

Наиболее вероятный порядок астеносферных скоростей - дециметры в год (Ушаков, Красн, 1970; Сорохтин, 1974). Сцепление астеносферы с литосферой приводит к тому, что под действием конвективных течений в литосфере возникают механические напряжения. Когда они превышают предел прочности пород, происходит раскол литосферы на плиты, которые перемещаются в виде единого ансамбля в соответствии с направлениями астеносферных течений, определяемыми глобальной структурой мантийной конвекции. Пространственное распределение дивергентных и конвергентных границ, а также направления и скорости перемещения литосферных плит в настоящее время позволяют грубо представить себе современную структуру конвективных течений в мантии.

### 3. Плюмтектоническая модель.

У. Джесон Морган выделил на Земле около 20 «горячих пятен» (hot spots). Он выдвинул гипотезу о том, что горячие пятна подпитывались струями (плюмами), поднимавшимися с больших глубин мантии. Первоначально плюмовая гипотеза была основана на шести постуатах (предсказаниях): 1) плюмы фиксированы в пространстве один относительно другого, 2) из них испускаются временные прогрессии вулканических цепей, 3) их корни находятся в глубокой мантии, откуда они переносят вверх первичную мантию, 4) они разламывают континенты, 5) онидвигают плиты и 6) они являются горячими. Количество публикаций по плюмам резко возросло в начале 1990-х гг. С течением времени начальная плюмовая гипотеза претерпевала изменения. Современная стандартная плюмовая модель предполагает 5 основных предсказаний: 1) сводовое поднятие, предшествующее вулканизму, 2) извержение флюид-базальтов, 3) наличие узкого проводящего канала до коромантийной границы, 4) временная прогрессия вулканической цепи и 5) высокие температуры в магматическом источнике. Для определения проводников, протягивающихся под расплавными аномалиями от границы ядро-мантия, может использоваться в настоящее время единственный метод – сейсмологический.

В рамках плюмовой модели переход от крупной трапповой провинции к линейной цепи вулканов объясняется переходом активности от широкой головной части плюма

диаметром порядка 2000 км, расплюснутой под основанием литосферы, к перехватывающей ее плюмовой колонне диаметром 100–200 км. В каталоге К. Куртио и др. [13] из 50 наиболее часто упоминаемых горячих пятен Земли такие соотношения имеют место только в трех случаях: плато Декан – Реюньон, Парана – Етендека – Тристан и плато Онтонг Джава – Луизвиль. Последний случай вызывает сомнения, и остаются только два случая перехода от крупной трапповой провинции к линейной цепи вулканов. Эти случаи скорее отражают исключительные ситуации, чем основополагающее правило плюмовой модели.

#### 4. Новая теория глобальной геодинамики в Земле.

В новой теории глобальной геодинамики в Земле выделяется по характеру господствующих геодинамических процессов три главных области: тектоносфера, охватывающая кору и верхнюю мантию с переходной зоной; нижняя мантия и ядро. В тектоносфере господствует тектоника плит, в нижней мантии – плюм-тектоника мантийных струй и в ядре – «тектоника ядра», выражаясь в разрастании внутреннего ядра за счет внешнего.

По новой модели, плейттектоника поставляет холодный материал (в зонах субдукции) в область плюмтектоники и далее он проникает вплоть до ядра (процесс даунвеллинг). Взаимодействие холодной пластины с внешним ядром имеет два следствия. Во-первых, оно вызывает охлаждение внешнего ядра и порождает в нем нисходящий вихрь, уносящий железо и никель во внутреннее ядро, увеличивая последнее в размерах. Во-вторых, оно провоцирует возникновение компенсационного восходящего течения на границе ядро-мантия, которое порождает плюм. От ядра через область плюмтектоники поднимается горячий материал (суперабвеллинг), над которым образуются оси спрединга индуцирующие тектонику плит. Так совершается, согласно японской модели, переход от плюм-тектоники к тектонике плит (плейт-тектонике). Развитие динамики Земли шло от тектоники ядра, охватывавшей всю планету 4,6 млрд. лет назад, к плюмтектонике и далее с прогрессивным сокращением объема последней – к возникновению плейт-тектоники.

В современной картине Земли японские исследователи различают один крупный нисходящий холодный суперплюм под Центральной Азией и два восходящих суперплюма – под южным Тихим океаном и под Африкой. Наличие конвекционных ячеек в мантии не подтвердилось. Таким образом, в нижней мантии, а фактически в переходной зоне, к верхней мантии навстречу друг к другу на определенном расстоянии движутся колонны охлажденного и разогретого вещества, т.е. конвекция реализуется в форме адvectionи.

Мощные восходящие суперплюмы служат причиной раскола и дисперсии суперконтинентов и образования вторичных океанов между их фрагментами, в то время

как по суперконтинентами, окруженными зонами субдукции, возникают воронкообразные холодные суперплюмы, обеспечивающие более спокойный тектонический режим.

Компьютерное моделирование эволюции геодинамических процессов во времени позволило создать новое направление в геологии – историческую геодинамику. В историческом аспекте, в соответствии с той же моделью, развитие Земли, как и других планет, началось с «тектоники роста», т.е. образования ядра. Эту стадию прошли все планеты солнечной системы. Оно продолжилось временем господства плюм-тектоники, которая уже в архее начала сменяться в верхних оболочках Земли плейт-тектоникой. Подобная смена, вероятно, наблюдается в настоящее время на Венере. Турбулентная конвекция в виде перемещения колон и капель разогретого вещества перерастает в более упорядоченную. На Земле с появлением в архее литосферы, ее дальнейшим разрастанием и обособлением астеносферы верхняя мантия и кора стали областью совместного проявления плюм- и плейт-тектоники. В соответствие с этой моделью Марс уже миновал стадию плейт-тектоники и вступил в стадию общего сжатия литосферы. В последней возникают немногочисленные разрывы, по ним к поверхности поднимается магма, дающая начало крупным вулканам. Меркурий и Луна находятся на стадии терминальной тектоники. Они утратили глубинную активность, по редким разрывам возможны газовые эманации. На этих планетах господствуют экзогенные процессы, обусловленные внешними факторами.

Японские исследователи попытались спрогнозировать, что будет с солнечной системой через 5 млрд. лет. К этому времени Солнце должно превратиться в красный гигант, под действием мощного теплового излучения поверхность планет подвергнется испарению. Недра планет, испытав предельное гравитационное сжатие, перейдут в состоянии декомпрессии и начнут расширяться. При наличии твердой и жесткой оболочки это может привести к взрыву, т.е. к саморазрушению планет.

Глобальная геодинамика как новая теория пока находится в своем развитии. Есть вопросы, которые она не решает. В качестве недостатка описанной модели можно указать то, что Земля в ней трактуется как замкнутая система, в то время как она в действительности является открытой, непрерывно взаимодействующей с космосом.

## **1. 10 Лекция № 13 ( 2 часа).**

**Тема:** Ритмичность процессов в истории Земли

### **1.10.1 Вопросы лекции:**

1. Ритмичное построение толщи пород.
2. Методы изучения ритмичности и цикличности процессов.

## **1.10.2 Краткое содержание вопросов:**

### 1. Ритмичное построение толщи пород.

В самом общем случае в эволюции человека можно выделить три основных этапа: появление археоантропа, смена археоантропа палеоантропом и смена палеоантропа неоантропом. Последняя крупная перестройка в органическом мире относится к границе, определяемой в интервале от 1,3 до 0,9 млн. лет назад. Человек, судя по данным, приводимым В.А. Зубаковым, появился несколько раньше – 1,6-1,4 млн. лет назад в Восточной Африке. Очень вероятно, что вспышка радиоактивности, приуроченная к холодному моменту ритма плейстоцена (и, может быть, совпадающая с холодным моментом геологического ритма), вызвала мутацию, в результате которой на Земле появился человек. Это был археоантроп или питекантроп, живший в древнюю палеолитическую эпоху или в эоплейстоцене и раннем плейстоцене. Орудиями его были грубо обтесанные камни и так называемые рубила. Последовательность культур, связанных с археоантропом, такова: культура галек - шельская - ашельская культура; последняя частично распространилась и на средний плейстоцен. Время исчезновения палеоантропа и замены его неоантропом - кроманьонцем установлено достаточно точно. Слои финального мустье в наскальном навесе Ла-Кина имеют датировку  $3525 \pm 530$  лет назад. Самые древние датировки позднего палеолита,  $38160 \pm 1250$  и  $38320 \pm 2480$  лет назад, получены из отложений в пещере Нетопержевой около Krakova. Теперь можно с большей степенью уверенности сказать, что три самых главных этапа в истории человечества контролируются тремя характерными моментами ритма плейстоцена.

Примерно 40 тыс. лет назад произошла смена палеоантропа неоантропом. Однако исчезновение неандертальца и появление кроманьонца не следует рассматривать как моментальный акт. Кризис, имевший место 40 тыс. лет назад, нанес смертельный удар неандертальцу и его культуре мустье, но полностью их не уничтожил. Иначе трудно объяснить датировки финального мустье порядка 35 тыс. лет назад. С этим же кризисом, видимо, связано появление кроманьонца (датировки порядка 38 тыс. лет назад). В общем, ранний период позднего палеолита, когда доживал свой век неандерталец и только-только начал жить кроманьонец, можно с одинаковым основанием относить и к среднепалеолитической культуре финального мустье и к позднепалеолитической культуре ориньяк.

Во время климатического оптимума голоцене осуществлялся переход от мезолита к неолиту. В связи с этим очень symptomatically звучит фраза С.Г. Неручева о том, что «почти полное отсутствие населения во время проявления «климатического оптимума» выглядит довольно странным, если не принимать в расчет проявившейся радиоактивности

среды». Характерные моменты 40700-летнего ритма, по-видимому, в некоторой степени воздействуют и на физический тип человека. Так, расчетами Г.Ф. Дебеца установлено, что в интервале между 8-4 тыс. лет назад произошло скачкообразное изменение массивности черт человека.

В.М. Массон пишет, что «четыре тысячи лет назад общество южных областей Средней Азии находилось на пороге рождения городских цивилизаций». В это время распространилось искусственное орошение в земледелии. В это же время получила развитие цивилизация Хараппы в Индии. Казалось, человечество подошло к этапу раннеклассического общества. Однако «произошло нечто, совсем противоположное. Вместо подъема и прогресса мы видим повсюду упадок и разорение. Приходят в запустение поселения-гиганты... Этот упадок виден во всех областях культуры... Грань цивилизации, порог раннеклассического общества оказались неперейденными». И далее В.М. Массон пишет: «В то же II тысячелетие до н.э. отмечается явный регресс в областях, расположенных на противоположных полюсах тогдашнего цивилизованного мира. В Греции и на Кипре в XIII-XII вв. до н.э. приходит в упадок крито-микенская культура... Еще более ошеломляющим было запустение в середине II тысячелетия до нашей эры гигантских древнеиндийских городов, известных нам, как и Намазга-депе, по позднему названию их руин – Мохенджо-Даро и Хараппы». Приведем также цитату Т. Хейердала об этом времени: «Всеобъемлющее крушение цивилизаций Восточного Средиземноморья датируется приблизительно 1200 г. до нашей эры... К датам около 3100 и 1200 гг. до н. э. привязаны чрезвычайно важные эпохи в истории Средиземноморья и Ближнего Востока. В первом случае видим ломку культур на средиземноморских островах и возникновение первых династий Египта и Двуречья, во втором - опять ломка сложившихся обществ, конец старых династий, поиски крупными этническими группами новых мест обитания».

## 2. Методы изучения ритмичности и цикличности процессов.

Математические методы анализа периодичности геологических процессов. Они нацелены на выявление закономерностей повторения литологических компонент (элементов) ритмов и вариаций различных параметров одновременно с определением времени формирования ритмов. Наиболее часто используются два основных метода.

Первый — подсчет среднего числа осцилляций параметров по разрезу с последующим делением продолжительности интервала на число пиков. Использованы 10 шкал времени.

Второй - метод спектрального анализа (разложение в ряд Фурье) на ЭВМ периодического распределения замеренных параметров. Подробно математические основы этого метода, как и некоторых других, изложены в ряде работ (Айнемер,

Одесский, 1975; Schwarzacher, 1993). А.И. Айнемер и И.А. Одесский (1975) разделяют математические методы анализа ритмичности (метод Бюи-Балло), цикличности (метод Маркова) и периодичности (метод Фурье). Одним из методов анализа периодичности является метод Уолша (Schwarzacher, 1993). В последнее время я (Sbignev, 1997) высказывается точка зрения о целесообразности комбинативного Марков-Миланкович (Фурье) подхода в циклостратиграфии. Выбор метода Фурье был обусловлен задачей оценки вероятной связи ритмичных флюктуаций параметров с циклами Миланковича путем анализа частоты распределения точек экстремума на осцилляционных кривых параметров. Необходимыми «границными» условиями данного метода являются: 1) ритмичное распределение замеренных параметров в разрезе; 2) обильная фактологическая база (не менее 200 образцов или замеров); 3) равенство временного интервала между точками измерений.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Не предусмотрено РУП.

## **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **3.1 Практическое занятие № 1 ( 2 часа).**

**Тема: Земля в космическом пространстве, происхождение Солнечной системы, строение земного шара и планет земной группы**

#### **3.1.1 Задание для работы:**

1. Представление о Вселенной, Галактике Млечного пути. Солнце, как одна из звезд Галактики и его основные параметры.
2. Место Земли среди планет Солнечной системы.
3. Планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс и их сравнительная характеристика.
4. Значение изучения планет для познания древнейших этапов развития Земли.
5. Строение Земного шара. Фигура Земли, размеры, масса, средняя плотность.

#### **3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

#### **3.1.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен знать общие представления о Вселенной, Галактике Млечного пути, планеты земной группы, строение земного шара.

### **3.2. Практическое занятие № 2 (2 часа)**

**Тема: Земная кора, ее состав и строение. Вещественный состав земной коры**

#### **3.2.1. Задание для работы:**

1. Понятие о минералах. Принципы классификации минералов.
2. Главнейшие породообразующие минералы, их состава химический состав и физические свойства. Понятие о горных породах и их генетическая классификация.
3. Земная кора. Основные черты современного рельефа земной поверхности, как отражение строения земной коры.
4. Континенты и океаны. Гипсометрические ступени и их геологическая интерпретация.
5. Типы земной коры: континентальный (материковый), океанический, субконтинентальный, субокеанический. Расслоенность земной коры.

#### **3.2.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

#### **3.2.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о минералах, принципы их классификации, знать типы земной коры. Знать породообразующие минералы.

### **3.3. Практическое занятие 3 (2 часа)**

**Тема: Геологическая хронология. Специфика пространственных временных отношений**

#### **3.3.1. Задание для работы:**

1. Возраст земной коры. Относительная геохронология.
2. Методы определения относительного возраста (последовательности образования) осадочных и магматических горных пород.
3. Общая характеристика методов определения абсолютного возраста горных пород.
4. Абсолютный возраст Земли и древнейших пород.
5. Геологические процессы. Общие понятия о геодинамических системах и процессах.

#### **3.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

### **3.3.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен знать геологическую хронологию, общую характеристику методов определения абсолютного возраста горных пород, общие понятия о геодинамических системах и процессах.

## **3.4. Практическое занятие 4 (2 часа)**

### **Тема: Геологическая деятельность ледников**

#### **3.4.1. Задание для работы:**

1. Типы и режим ледников. Разрушительная работа ледников (экзарация).
2. Ледниковые долины, ригели.
3. Покровные оледенения Антарктиды и Гренландии.
4. Древние четвертичные (антропогенные) и неогеновые оледенения. Древнее позднепалеозойское оледенение Гондваны на континентах Южного полушария. Докембрийские оледенения.
5. Гипотезы о причинах оледенений.

#### **3.4.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

#### **3.4.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен знать геологическую деятельность ледников, гипотезы о причинах оледенения.

## **3.5. Практическое занятие 5 (2 часа)**

### **Тема: Тектонические движения земной коры**

#### **3.5.1. Задание для работы:**

1. Типы тектонических движений земной коры.
2. Вертикальные и горизонтальные движения, их взаимосвязь.
3. Понятие о механизме деформирования и разрушения твердых тел, упругость, прочность, пластичность, вязкость, ползучесть.
4. Коры выветривания.

#### **3.5.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

#### **3.5.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о тектонических движениях земной коры, знать типы движения земной коры. Иметь представление о механизме деформирования и разрушения твердых тел, а также о таких

свойствах как упругость, прочность, пластичность, вязкость, ползучесть, коры выветривания.

### **3.6. Практическое занятие 6 (2 часа)**

#### **Тема: Складчатые нарушения горных пород**

##### **3.6.1. Задание для работы:**

1. Элементы складки. Физические условия развития складчатых нарушений.
2. Типы складок и форма складок в плане. Периклинальные и центриклинальные замыкания складок.
3. Сочетание складок в горных областях.
4. Типы складчатости - полная, прерывистая, промежуточная, их связь с определенными структурными зонами земной коры и происхождение.

##### **3.6.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

##### **3.6.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о складчатых нарушениях горных пород, знать типы складчатости.

### **3.7. Практические занятия 7,8 (4 часа)**

#### **Тема: Землетрясения и сейсмичность**

##### **3.7.1. Задание для работы:**

1. Землетрясения как отражение интенсивных тектонических движений земной коры и разрядки напряжений.
2. Примеры катастрофических землетрясений в СНГ и в других странах. Географическое распространение землетрясений и их тектоническая позиция.
3. Упругие (сейсмические) волны, их типы и скорость распространения.
4. Сейсмические станции и сейсмографы.
5. Глубины очагов землетрясений. Интенсивность землетрясений (колебания на поверхности). Шкалы для оценки интенсивности землетрясений в баллах. Изосейсты и изосейсмальные области.
6. Энергия, магнитуда и энергетический класс землетрясений. Частота землетрясений.
7. Сейсмофокальные зоны Беньофа.
8. Сейсмическое районирование и его практическое значение. Строительство сейсмостойких зданий и сооружений.

9. Проблема прогноза землетрясений.

### **3.7.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

Отметить на картах мира сейсмоопасные зоны. Работа с картой.

### **3.7.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о землетрясениях, примеры катастрофических землетрясений СНГ и в других странах. Иметь представление о глубинах очагов землетрясений, интенсивности землетрясений, шкалы для оценки интенсивности землетрясений. Проводить на картах сейсмическое районирование и его практическое значение.

## **3.8. Практическое занятие 9 (2 часа)**

### **Тема: Вулканализм**

#### **3.8.1. Задание для работы:**

1. Вулканы и их деятельность.

2. Продукты извержения вулканов: газообразные, жидкие, твердые.

2. Строение лавовых потоков.

3. Типы вулканов.

4. Кальдеры и их происхождение.

5. Геологическая обстановка возникновения вулканов.

6. Практическое использование гидротерм и пара.

7. Географическое и геологическое распределение действующих вулканов.

### **3.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

Отметить на картах мира активные вулканические зоны. Работа с картой.

### **3.8.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о вулканах и их деятельности. Знать продукты извержения вулканов, строение лавовых потоков, типы вулканов. Определять практическое использование вулканической активности и гидротермальных источников.

## **3.9. Практическое занятие 10 (2 часа)**

### **Тема: Океаны как структурный элемент высшего порядка**

#### **3.9.1. Задание для работы:**

1. Срединно-океанские поднятия (хребты), их строение.

2. Рифтовые зоны и магматизм.
3. Океанские плиты, их структуры.
4. Понятие о микроконтинентах.
5. Глубоководные желоба, островные дуги, окраинные моря, сейсмофокальная зона, аккреционная призма осадков.
6. Происхождение океанов, представления об их возрасте.

### **3.9.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

Работа с картой.

### **3.9.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление об океанах как о структурном элементе высшего порядка. Иметь представление о глубоководных желобах, островных дугах, окраинных морях.

## **3.10. Практическое занятие 11 (2 часа)**

**Тема: Континенты как структурный элемент высшего порядка.**

### **3.10.1 Задание для работы:**

1. Древние (континентальные) платформы и складчатые пояса.
2. Континентальные платформы основные структурные элементы, развитие.
3. Складчатые пояса, области и системы. Распространение, основные черты строения. Представления о развитии складчатых поясов.

### **3.10.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

### **3.10.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о континентальных платформах, складчатых поясах, представления о развитии складчатых поясов.

## **3.11. Практическое занятие 12 (2 часа)**

**Тема: Теория тектоники литосферных плит**

### **3.11.1 Задание для работы:**

1. Основные понятия. Литосферная плита, спрединг, трансформный разлом, субдукция, сейсмофокальные зоны Беньофа.
2. Развитие и эволюция подвижных поясов литосферных плит.
3. Понятие о геодинамике и палеотектонических реконструкциях.

4. Эпохи и фазы складчатости: добайкальская, байкальская, салаирская, каледонская, герцинская, киммерийская, ларамийская, альпийская. Примеры складчатых областей различного возраста.

**3.11.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.  
Работа с картой.

**3.11.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о теории тектоники литосферных плит. Изучить эпохи и фазы складчатости. Приводить примеры складчатых областей различного возраста.

**3.12. Практическое занятие 13 (2 часа)**

**Тема: Ячеистая модель геосфер**

**3.12.1. Задание для работы:**

1. Фрактальность геосистем.
2. Концепция коэволюции геосфер.
3. Концепция геоморфоблокового строения.

**3.12.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Выслушать доклады на представленные выше темы с использованием презентаций.

**3.12.3 Результаты и выводы:**

В результате проведенного занятия студент должен иметь представление о фрактальности геосистем, знать концепции коэволюции геосфер, геоморфоблокового строения геосфер.

**4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Не предусмотрено РУП.