

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.  
Маусымбаева Алия Думановна  
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

## Лекция 7

### МЕТАМОРФИЧЕСКИЙ И ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

План лекции:

- Метаморфический процесс Факторы метаморфизма.
- Региональный метаморфизм.
- Контактовый метаморфизм.
- Динамометаморфизм.
- Ультраметаморфизм.
- Метасоматоз.
- Ударный метаморфизм.
- Тектонические процессы

#### 1. Метаморфический процесс

**Метаморфизмом** (от греч. «метаморфозис» - превращение) называется процесс перекристаллизации горных пород в твёрдом состоянии, протекающий в недрах Земли под действием температуры (T), давления (P) и флюидов преимущественно жидких или газово-жидких.

Метаморфические изменения в горных породах начинаются при повышении температуры до +200°C и увеличении всестороннего давления, вызванного весом вышележащих пород.

Основной причиной перекристаллизации при изменении термодинамических параметров среды является различная устойчивость минералов в тех или иных условиях. Для каждого минерального вида имеется свой диапазон устойчивости как по температурам, так и по давлениям. При выходе за соответствующие рамки минералы разрушаются, а из входивших в них химических элементов кристаллизуются другие минеральные вещества.

Условия проявления и классификация метаморфических процессов. В зависимости от того, в каком направлении меняется температура, метаморфизм подразделяется на прогрессивный и регрессивный.

**Прогрессивным** называется метаморфизм, протекающий при повышении температуры, **ретрессивным** – тот, который идёт при её уменьшении. При прогрессивном метаморфизме ассоциации минералов, устойчивых в условиях относительно низких температур, замещаются другими, более высокотемпературными. Соответственно, горная порода, которая была сложена низкотемпературными минералами, преобразуется в новую породу с иным минеральным составом. При **ретрессивном** метаморфизме процесс идёт в обратном направлении.

Важнейшим условием, обеспечивающим возможность протекания процесса как в одном, так и в другом направлении, является наличие в горных породах воды. Именно вода является средой, в которой протекают разнообразные химические реакции. Вода при метаморфизме может оказаться средой не только для осуществления химических реакций; в ней может осуществляться и направленная миграция тех или иных химических веществ. В зависимости от того, осуществляются ли при метаморфизме процессы **привноса** –

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.  
Маусымбаева Алия Думановна  
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

**выноса химических элементов, различают метаморфизм изохимический и аллохимический.**

**Изохимический** метаморфизм происходит без изменения исходного химического состава горной породы. При метаморфизме **аллохимическом (метасоматозе)**, в результате привноса и/или выноса тех или иных компонентов химический состав горной породы претерпевает разнообразные изменения.

1.1. Основные факторы метаморфизма, действующие на вещество исходных пород:

температура, давление - стрессовое и петростатическое (за счет вышележащих толщ), химически активные вещества (флюиды).

В зависимости от условий проявления, масштабов распространения процесса и роли того или иного фактора выделяются следующие типы метаморфизма:

1.2. **Региональный метаморфизм** проявляется на обширных площадях в связи с крупными тектоническими событиями в развитии регионов. При региональном метаморфизме всегда, в тех или иных соотношениях, действуют оба фактора – и температура, и давление (**стрессовое и петростатическое**).

1.3. **Контактовый метаморфизм** проявляется в связи с внедрением в относительно холодные горные породы горячих масс магматических расплавов. Фактором, обуславливающим проявление метаморфического процесса, является температура. Контактово-метаморфическому воздействию подвергаются породы, находящиеся вблизи контакта с интрузией магмы. Ширина зоны контактового метаморфизма в наибольшей мере зависит от размеров интрузивного тела, воздействующего на вмещающие породы. Чем оно крупнее, тем шире будет зона, в которой проявлен метаморфизм.

1.4. **Динамический метаморфизм (динамометаморфизм)** чаще всего связан с подвижками вдоль разрывных нарушений, и его проявления в этом случае приурочены непосредственно к узким вытянутым приразломным зонам. В связи с этим его также можно назвать приразломным метаморфизмом. Реже динамометаморфические изменения развиваются в относительно широких (шириной в километры, иногда десятки километров), но также протяжённых зонах, в пределах которых горные породы целиком подвержены интенсивному смятию. Фактор динамометаморфизма – давление. При этом температурный фон, на котором возникает область повышенного давления, может быть различным. Поэтому динамометаморфические процессы бывают как низко-, так и высокотемпературными.

1.5. **Ультраметаморфизм** представляет собой особую разновидность метаморфических процессов, являясь высшей ступенью регионального метаморфизма. Рубежом, отделяющим ультраметаморфизм от обычного метаморфического процесса, является начало частичного плавления горных пород, при котором наиболее легкоплавкие компоненты начинают формировать размещающийся в промежутках между зёренами горной породы магматический расплав. Факторы – температура, давление, химическая активность воды, привнос и вынос веществ.

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.  
Маусымбаева Алия Думановна  
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

С началом плавления кристаллическая решётка минералов разрушается, а слагающие её атомы ионизируются и приобретают подвижность. А наличие расплава создаёт среду, в которой они перемещаются и взаимодействуют с твёрдой фазой.

Развитие ультраметаморфизма приводит к переплавлению основной части объёма горных пород и смене метаморфического процесса магматическим.

**1.6. Метасоматоз.** При метасоматозе химический состав горной породы претерпевает разнообразные изменения в результате привноса и/или выноса тех или иных компонентов. С метасоматитами связаны концентрации многих редких элементов, и они служат важным поисковым признаком промышленных руд.

**1.7. Ударный метаморфизм (импактный, коптогенный)** проявляется в образовании различных пород и новых минералов при столкновении с Землей метеоритов. При падении на Землю метеорита образуется кратер или астроблема (по греч. «астра» - звезда, «блема» - рана), которая всегда больше, чем упавший метеорит. При падении метеорита практически мгновенно выделяется огромное количество энергии, расходуемой на механическое и тепловое изменение горных пород. В момент удара давление достигает 600-900 кбар, температура – 2500-3000оС. Благодаря этому в пределах астроблем горные породы подвергаются сжатию, дроблению, плавлению и испарению. В результате механического разрушения и плавления пород возникают импактиты – лавоподобные метаморфические породы, состоящие из стекла со значительной примесью обломков вмещающих пород. Главной особенностью ударного метаморфизма является образование высокобарических минералов, не характерных для земных условий. Среди таких минералов необходимо назвать модификации углерода: лондейлит и алмаз (морфологически отличный от земного), а также модификации кварца (стишовит и коэсит).

В настоящее время на Земле известно более 200 астроблем, крупнейшей из которых является расположенная на севере Восточной Сибири Попигайская (ее диаметр 90 км).

Ударный метаморфизм имеет локальное распространение и не выходит за пределы метеоритного кратера.

## 2. Тектонические процессы

**Тектонические процессы** – это разнообразные движения твёрдых масс литосферы и мантии Земли, протекающие благодаря действию внутренней энергии Земли. Эти процессы не могут наблюдаться в полном объёме, так как протекают в среднем с очень низкими скоростями (порядок – не более сантиметров в год) и растягиваются на огромные промежутки времени. Поэтому прямому наблюдению доступны лишь отдельные эпизоды тектонических движений, а судить об общем ходе такого процесса можно лишь по его результатам.

По направлению движения их разделяют на вертикальные и горизонтальные.

**Вертикальные колебательные движения** ведут к длительному и медленному погружению или воздыманию крупных участков литосферы (площадью в десятки и сотни тысяч квадратных километров). Скорость таких движений обычно составляет 1–2 мм/год, и почти никогда не превышает 1–2 см/год. Благодаря тому, что знак направления движения не изменяется на протяжении тысяч и миллионов лет, вековые движения оказываются в состоянии изменить абсолютную высоту территории на несколько километров. В результате происходит изменение физико-географических условий местности и, как следствие, смена

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.  
Маусымбаева Алия Думановна  
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

характера протекающих на ней процессов. Положительные формы рельефа возникнут лишь тогда, когда скорость тектонического вздымаания будет большей, чем скорость опускания. Наоборот, глубоководный морской бассейн сформируется только при условии высокой скорости тектонического погружения и низкой скорости осадконакопления.

Первый факт, однозначно свидетельствующий о наличии вертикальных тектонических движений – изменения положения береговой линии моря в разных районах мира. Уровень моря является глобальным высотным репером, поскольку воды Мирового океана стремятся, под действием силы тяжести, сформировать поверхность на единой высоте. Если на одних участках морских побережий море устойчиво наступает на сушу, а на других – отступает, обнажая участки бывшего морского дна, это означает только одно: такие изменения вызваны не колебаниями уровня мирового океана (они не могут в разных частях иметь разную направленность), а вертикальными движениями земной коры. Последние, вполне могут быть на одних территориях восходящими, на других нисходящими.

С древности люди неоднократно находили высоко в горах горные породы явно морского происхождения, нередко содержащие многочисленные остатки морских животных. Это однозначно говорит о том, что участки бывшего морского дна могли испытывать поднятие и оказываться в итоге на высоте многих километров. Породами морского происхождения сложены даже самые крупные горные вершины мира – Джомолунгма и другие горы в Гималаях, имеющие высоты более 8000 м над уровнем моря. Разумеется, такие поднятия происходили не мгновенно. Подъём Гималаев начался, по геологическим данным, около 40 миллионов лет назад.

О величинах поднятий в тех или иных районах позволяют судить наблюдения за развитием речных долин. Если река неуклонно углубляется, это говорит о том, что процесс протекает на фоне общего поднятия территории. Так, долина Енисея в районе г. Красноярска приблизительно за последние 2 миллиона лет углубилась более чем на 200 м. Следовательно, за этот промежуток времени вся прилегающая местность испытала поднятие на соответствующую величину.

**Горизонтальные движения** земной коры распознать в целом сложнее. Ведь для их оценки нет столь удобного репера, как уровень Мирового океана. Поэтому их значимость и масштабы долгое время недооценивались. Но в настоящее время, с появлением спутниковых геодезических систем, давших возможность точных измерений координат любых точек земной поверхности, стало ясно, что их масштабы, напротив, даже более значительны. По данным спутниковой геодезии величины горизонтальных перемещений блоков земной коры по отношению друг к другу, составляют величины порядка нескольких сантиметров в год. Это на порядок больше, чем скорости вертикальных движений. В итоге совокупный результат таких перемещений за обширные промежутки геологического времени может измеряться тысячами километров. Горизонтальные медленные движения отличаются еще большей устойчивостью во времени. В силу этого амплитуда горизонтальных подвижек литосферных блоков может достигать нескольких тысяч километров, несопоставимо превышая амплитуду вертикальных смещений. Горизонтальные движения являются главной причиной формирования океанов и массивов суши.

По скорости тектонические процессы подразделяются на **медленные и быстрые**.

Среди причин, вызывающих **медленные** тектонические движения, можно назвать процессы горообразования в прилегающих областях, а также внедрения в земную кору огромных интрузивных тел.

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.  
Маусымбаева Алия Думановна  
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

**Быстрые** тектонические движения вызывают разного рода нарушения в условиях первоначального залегания слоев горных пород. Такие нарушения называются дислокациями.

**Тектонические дислокации** делятся на два типа:

**пликативные (складчатые, пластические)** – не ведут к возникновению разрывов (трещин); **дизьюнктивные (разрывные)** – ведут к расколу слоев горных пород.

**Пликативные дислокации** свойственны горным областям и образуются в результате быстрых горообразовательных движений. Представлены волнообразными изгибами слоев, называемыми складками. Существует два основных вида складок: **антеклинальные, синеклинальные**.

**Антеклинальная складка** – выпуклая складка изогнутых горных пород, вершина ее направлена к поверхности земли. Вогнутая складка называется синеклинальной.

В строении каждой складки выделяют следующие элементы: **замок** – место перегиба слоев; **крылья** – расходящиеся от замка участки

изогнутого слоя; **шарнир** – линия перегиба складки в замке, ровные шарниры встречаются

достаточно редко, как правило, они волнообразно изгибаются – явление ундуляции; **ось складки** – проекция шарнира на горизонтальную плоскость;

**осевая плоскость** – плоскость, проведенная через шарнир и равноудаленная от обоих крыльев; **ядро** – внутренняя часть складки, относительно которой произошло смятие слоев.

**Дизьюнктивные дислокации (разрывы, разломы)** ведут к расколу слоев горных пород. Их можно разделить на два типа: **разломы без смещения пластов; разломы со смещением пластов.**

**Разлом**, относительно которого произошло смещение слоев, называется **сместителем**. Переместившиеся относительно него блоки называются крыльями разрыва. Крыло, под которое падает **наклонный сместитель**, называется **висячим**, а противоположное ему крыло – **лежачим**.

В зависимости от расположения крыльев выделяют следующие **виды разломов:**

**Сброс** – висячее крыло опущено или сместитель расположен вертикально. Сбросы возникают в режиме растяжения слоев (например, в замке антеклинальной складки).

**Взброс** – висячее крыло поднято.

**Надвиг** – висячее крыло поднято, но сместитель наклонен под углом менее 45°. Взбросы и надвиги возникают в режиме тектонического сжатия слоев (например, в ядре синеклинали). При взбросах и надвигах происходят горизонтальные перемещения слоев, причем амплитуда их тем больше, чем меньше угол наклона сместителя.

**Сдвиг** – крылья разрыва смещаются в горизонтальном направлении, не удаляясь друг от друга.

**Горст** – линейно вытянутый поднятый блок земной коры, ограниченный сбросами.

**Грабен** – линейно вытянутый опустившийся блок земной коры, ограниченный сбросами.

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.  
Маусымбаева Алия Думановна  
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

**Глубинные разломы** – рассекают всю литосферу, выступают в качестве особой геологической разломной структуры. Среди них важнейшее значение принадлежит рифтам, по линиям которых литосферные плиты раздвигаются.

- 1 Абдулин А.А. Геология и минеральные ресурсы Казахстана. Алматы: Гылым, 2004.
- 2 Геологическое строение Казахстана / Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитченко И.И. и др. - Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2005.
- 3 Полезные ископаемые Казахстана: Объяснительная записка к Карте полезных ископаемых Казахстана масштаба 1:1 000 000 / Никитченко И.И. – Кокшетау, 2006.
- 4 Геология и минерагения Казахстана. Алматы: «Казгео», 2008.
- 5 Геонауки в Казахстане. Алматы: «Казгео», 2008.
- 6 Бекжанов Г.Р., Фишман И.Л. Прогнозные ресурсы и управление недропользованием в Казахстане. Алматы, 2012.
- 7 Бакенов М.М. Оновы рудно-формационного анализа. Алматы, 2011.
- 8 Бакенов М.М., Отарбаев К. Геология полезных ископаемых Казахстана, Алматы, 2012.
- 9 Бакенов М.М. Нетрадиционные и новые виды полезных ископаемых Казахстана, Алматы, 2008.
- 10 Рельеф Казахстана (пояснительная записка к Геоморфологической карте Казахстана масштаба 1: 1 500 000). В 2 – х частях. – Алма – Ата: Гылым, 2011.
- 11 Бакенов М.М. Нерудные полезные ископаемые Казахстана, Алматы, 2009.
- 12 Бакенов М.М. Месторождения золота Казахстана, Алматы, 2008.
- 13 Сыревая база алюминиевой промышленности Казахстана. Алматы: Академия минеральных ресурсов РК, 2006.
- 14 Сыревая база черной металлургии Казахстана (железо, марганец, хром). Караганда

Ассоциированный профессор кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.

**Маусымбаева Алия Думановна**

Образовательная программа 7M07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»