

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

Лекция 6

ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

План лекции:

Магматический процесс.

Формы залегания магматических пород.

Постмагматические процессы: пневматолитовый и гидротермальный, Пегматитовый процесс.

К эндогенным геологическим процессам относятся те процессы, источником которых является внутренняя энергия Земли. К их числу принадлежат магматические, метаморфические и тектонические процессы.

1. Магматический процесс

Магматический процесс – это процесс образования минералов путем кристаллизации непосредственно из магмы. Магматические процессы связаны с возникновением, эволюцией и кристаллизацией магматических расплавов. Их проявления целиком обусловлены действием внутренней тепловой энергии Земли, благодаря которой и возникает магма.

Магма – это сложный многокомпонентный раствор-расплав, образующийся при определённых условиях в недрах Земли или других планетных тел.

Подавляющая часть всего объёма магматических расплавов, возникающих и существующих в условиях земной коры и мантии Земли, имеет силикатный состав. То есть, основными химическими компонентами этих расплавов являются кислород и кремний, а основной объём горных пород, образующихся при их кристаллизации, слагают минералы класса силикатов. Но в природе могут формироваться – и изредка, действительно, встречаются – магмы иного химического состава. Известны следующие типы магматических расплавов:

силикатные, ведущими компонентами которых являются O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na и K; расплавы этого типа имеют подавляющее преобладание среди всех известных нам земных магм; сульфидные; ведущие компоненты – S и ионы различных металлов (Fe, Cu, Ni и др.); в результате их кристаллизации образуются горные породы, сложенные сульфидами названных металлов – халькопиритом и др. (их скопления могут формировать крупные рудные месторождения – например, Норильские); карбонатные; ведущие компоненты – O, C, Ca, нередко Fe; продукт их кристаллизации – магматические породы карбонатного состава (карбонатиты); фосфатные (O, P, Ca и др.); из них образуются породы существенно апатитового состава (примером их являются апатитовые месторождения Хибин); железистые (O, Fe); очень редкий тип расплавов, но их производными являются породы, сложенные преимущественно магнетитом – лучшей железной рудой.

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

Предположительно, процесс формирования очагов жидкой магмы происходит в астеносфере, это может быть обусловлено разного рода физико-химическими процессами, протекающими в мантии.

Лава – магматический расплав, излившийся на поверхность земли. От магмы отличается пониженным содержание летучих компонентов. По составу лавы также преимущественно силикатные, но могут быть и карбонатные.

По месту застывания магмы, магматизм подразделяют на интрузивный (застывание магмы на глубине) и эфузивный (застывание лавы на поверхности). Интрузивный магматизм иначе называется плутонизмом, а эфузивный - вулканизмом.

Представления о магме и магматическом процессе мы получаем, изучая вулканическую деятельность и моделируя природные процессы экспериментальным путем.

В результате кристаллизации магмы образуются интрузивные (магматические) горные породы, которые составляют 95% массы земной коры. Разные по составу магмы образуются в различных условиях горные породы различного минерального состава.

Главным критерием определения химического состава магмы, как и магматических горных пород, является содержание SiO_2 – кремнезема:

кислой считается магма, содержащая более 65 % SiO_2 ;
средняя магма содержит от 65 до 53 % SiO_2 ; основная магма
содержит от 53 до 45 % SiO_2 ; ультраосновная магма бедна
кремнеземом – менее 45 % SiO_2 .

Существенную роль в составе многих магматических расплавов играют растворённые в них так называемые летучие компоненты – различные газы в надкритическом состоянии (флюиды), принимающие активное участие в процессах образования минералов. Ведущую роль среди них обычно играет водяной пар, диссоциированный на ионы H^+ и OH^- . Широким распространением пользуются также F , Cl , CO_2 и другие компоненты. Наличие флюидной фазы снижает вязкость магматических расплавов, температуру их кристаллизации, влияет на процессы взаимодействия магмы с вмещающими породами, характер вулканических извержений и многие другие аспекты магматической деятельности, находит отражение в минеральном составе магматических пород.

В ходе глубинных магматических процессов состав магматических расплавов непрерывно изменяется. Это связано с тем, что магмы могут разделяться и смешиваться, взаимодействовать с окружающими их твёрдыми горными породами, терять какие-либо компоненты в результате незавершившейся кристаллизации. Основными процессами, изменяющими состав магм, являются дифференциация, ассилияция и гибридизация.

Дифференциацией магмы называется разделение первичного магматического расплава на различные составляющие. Существует два механизма дифференциации:

А) **Ликвация** – разделение расплава на две несмешиваемые жидкости, одна из которых, имеющая меньшую плотность, будет скапливаться в верхней части магматической камеры, а другая – в нижней. Наглядным примером ликвации в быту может служить неизбежное разделение воды и масла после любой попытки их смешения. В магматических процессах благодаря ликвационной дифференциации обособляются расплавы несиликатного состава (сульфидные, карбонатные и др.).

Б). **Кристаллизационная дифференциация** обусловлена неодновременностью перехода различных компонентов магмы в твёрдую фазу при её охлаждении. Если

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

компоненты, закристаллизовавшиеся ранее, оседают на дно магматической камеры и там концентрируются, то в верхней части камеры будет скапливаться расплав, по составу отличающийся от исходного. Такая разновидность кристаллизационной дифференциации называется гравитационной (так как разделение компонентов происходит под действием силы тяжести). Данная последовательность, по имени выявившего ее канадского петрографа названная реакционным рядом Боуэна, выглядит примерно следующим образом: оливин – пироксен – плагиоклаз – роговая обманка – биотит – ортоклаз – мусковит – кварц.

Ассимиляция – это растворение или расплавление магмой захваченных ею обломков окружающих горных пород. Обломки попадают в магматический расплав из стенок и кровли магматической камеры. Если тепловой энергии магмы оказывается недостаточно для ассимиляции обломков, они формируют в образующейся магматической породе чужеродные включения угловатой формы – ксенолиты. Если обломки ассимилируются, это изменяет набор компонентов в магматическом расплаве. Проявления процессов ассимиляции наиболее характерны для краевых частей магматических камер.

Гибридизацией называется смешение магматических расплавов, проникших в одну магматическую камеру из различных очагов. В результате этого формируется расплав, состав которого будет промежуточным между составами двух исходных.

2. Формы залегания магматических пород

Горные породы магматического происхождения слагают геологические тела различной морфологии. При этом формы тел, формируемых при вулканических и при plutонических процессах, большей частью различны. При застывании лавы на поверхности образуются:

лавовые потоки – уплощённые тела языковидной формы, образуемые лавой, стекающей по склонам вулканических построек; **лавовые покровы** - отличаются от потоков большей площадью распространения; они формируются в результате растекания лав с очень низкой вязкостью по обширной территории; **купола** - формируются в результате застывания очень вязких лав над жерлом и в непосредственной близости от него.

При застывании лавы в жерле вулкана центрального типа формируется **некк** – узкое цилиндрическое тело вертикальной ориентировки. А при застывании её в трещинном канале – **дайка**, тело в форме узкой пластины, рассекающей окружающие горные породы.

Мagma, внедрившаяся в окружающие её горные породы и застывшая на глубине, слагает **интрузивные тела** (или **интрузии**) разнообразной формы. Морфология интрузивных тел зависит от условий внедрения, в наибольшей мере – от характера геологических структур, образуемых вмещающими породами. При внедрении расплава в трещины формируются **дайки** – такие же, как и в корнях вулканов трещинного типа. К числу других наиболее распространённых форм интрузий относятся следующие.

Силлы – тела, по форме подобные дайкам. Они формируются в результате послойных инъекций магмы между слоями осадочных пород. Отличие между дайкой и силлом в том, что силл залегает согласно с вмещающими породами (параллельно их слоистости), а дайка сечёт слоистость вмещающих её пород под тем или иным углом.

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

Лакколиты – линзовидные полого залегающие тела с выпуклой (куполообразной) кровлей. Формируются, когда большая порция магмы при внедрении приподнимает перекрывающие её слои.

Лополиты – прогнутые линзовидные тела, образуются в результате внедрения расплава между слоями полого изогнутой книзу складки вмещающих пород.

Штоки – субвертикальные, изометричные в плане тела, уходящие на большую глубину. Морфологически сходны с **некками**, но отличаются большим диаметром и меньшей геометрической правильностью формы.

Интрузивные тела очень больших размеров (занимающие площади во многие тысячи квадратных километров) и неправильной формы нередко называют **батолитами**.

Некоторые магматические породы глубинного происхождения могут выдавливаться вверх по зонам разломов в земной коре при тектонических движениях. Тела, сформированные таким путём, называются **протрузиями**. Для них характерна линзовидная или пластинообразная форма.

3. Постмагматические процессы

К этой категории относятся эндогенные геологические процессы, связанные с деятельностью флюидов, которые отделяются от магматических расплавов. При кристаллизации магмы на достаточно больших глубинах флюидная фаза удерживается в составе расплава высоким давлением вплоть до завершения процесса кристаллизации, и лишь после этого начинается самостоятельная геологическая деятельность флюидов, сменяющая магматический процесс во времени. К постмагматическим относятся процессы двух типов: пневматолитовые и гидротермальные.

3.1. Пневматолитовый (от греч. «пневма» - газ, пар) – это процесс минералообразования, происходящий при активном участии газо- и парообразной фазы, состоящей, прежде всего из паров воды. Проявления пневматолитовых процессов в глубинных условиях наиболее характерны при температурах порядка 400-500° С. Ведущую роль в пневматолитовой деятельности играют такие «летучие» компоненты, как H_2O , NF , HCl . В результате взаимодействия этих компонентов с веществом горных пород, в которые они проникают, образуются новые минералы – такие, как флюорит, топаз, турмалин, и другие.

3.2. Гидротермальный – процесс образования минералов из горячих минерализованных растворов (**гидротерм**). Гидротермальный процесс сменяет пневматолитовый, когда температура опускается ниже критической точки воды (375°C). С этого момента вода, играющая ведущую роль в составе постмагматических флюидов, переходит в жидкую фазу и начинает циркулировать в виде горячих растворов. Протекают гидротермальные процессы в диапазоне температур 375-50°C. Чем выше температура гидротермальных растворов, тем выше растворимость в них большинства минеральных веществ. Поэтому самые горячие растворы обычно являются наиболее минерализованными. По мере снижения температуры избыток растворённых веществ выделяется в кристаллической форме. Образуются разнообразные минералы гидротермального происхождения, которые заполняют любые возможные пустоты в горных породах или замещают минеральное вещество, слагавшее их ранее. Так как гидротермальные растворы проникают в окружающие горные породы преимущественно по

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

трещинам, продукты гидротермальной деятельности отлагаются обычно в форме жил или прожилков. Реже они слагают в породах изометричные гнёзда или обособления неправильной формы.

Растворы, отделяющиеся от магматических расплавов, нередко содержат в повышенных концентрациях серу и ряд металлов, более склонных к формированию сернистых, а не силикатных соединений (Cu, Pb, Zn, Hg и др.). Поэтому среди минералов, образующихся гидротермальным путём, широким распространением пользуются сульфиды этих металлов. К числу характерных продуктов гидротермальной деятельности относятся кварц, карбонаты и многие другие минералы. Некоторые химические элементы (в частности, золото) осаждаются из гидротермальных растворов в самородной форме.

Таким образом, пневматолитовый процесс обычно предшествует гидротермальному, они тесно взаимосвязаны и могут дать одинаковые минералы. В тех случаях, когда формирование минерального вещества в этих жилах происходило выше критической точки воды (375°C), т.е. активную роль в этом процессе играли пар и флюиды, принято говорить о собственно пневматолитовом генезисе. Если формирование минерального вещества происходило ниже критической точки воды, т.е. вода в качестве самостоятельной жидкой фазы играла существенную роль в процессе образования минеральных ассоциаций, говорят о гидротермальном генезисе.

В соответствии с температурой образования гидротермальные образования подразделяются на высокотемпературные (гипотермальные), возникшие при температурах $400\text{--}300^{\circ}\text{C}$, среднетемпературные (мезотермальные) с температурами образования минеральных ассоциаций от 300 до 150°C и низкотемпературные (эпитетермальные), формирующиеся при температурах $150\text{--}50^{\circ}\text{C}$. Гидротермальные образования, расположенные вблизи магматического очага - обычно высокотемпературные, а расположенные на удалении от магматического очага – низкотемпературные.

4. Пегматитовый процесс

Пегматитовый процесс представляет собой особый тип эндогенного процесса, занимающий пограничное положение между процессами собственно магматическими и постмагматическими. Протекает он с одновременным участием наиболее поздних порций магматического расплава и флюидной фазы при высокой концентрации последней.

Горные породы, образующиеся в результате пегматитового процесса, называются пегматиты и отличаются наиболее крупнозернистыми структурами.

Для реализации пегматитового процесса требуется два условия. **Первое** – это изначально достаточно высокое содержание в магматическом расплаве флюидной фазы. Так как наиболее насыщены соответствующими компонентами обычно кислые (гранитные) магмы, то и проявления пегматитового процесса наиболее часто связаны с кислым магматизмом. Намного реже встречаются пегматиты, являющиеся производными магм среднего или основного состава. **Второе** условие состоит в том, что флюидная фаза должна удерживаться в расплаве до самых заключительных стадий кристаллизации, что возможно при достаточно больших давлениях. Поэтому пегматитовая деятельность может протекать лишь на достаточно больших глубинах, не менее $4\text{--}5$ км. Пегматитовые растворы-расплавы могут скапливаться в виде обособлений среди материнских магматических пород, но чаще отжимаются по трещинам во вмещающие породы и формируют среди них тела жильной формы.

Для пегматитового процесса характерен ряд важных особенностей.

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

Маусымбаева Алия Думановна

Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

В образовании пегматитов принимают участие большое число летучих и редких элементов, накапливающихся в результате кристаллизационной дифференциации магматического расплава (H_2O , HF, HCl, B_2O_3 , CO_2 , CH_4) и многие редкие элементы (Li, Be, B, F, Rb, Cs, Mo, Zr, Hf, Ta, Nb, Th, U и др.)

Высокая концентрация флюидов обеспечивает условия для быстрого роста очень крупных и, нередко, очень чистых кристаллов. А в особых случаях могут формироваться кристаллы гигантских размеров. В уральских пегматитах находили кристаллы кварца длиной до 6-7 м и полевых шпатов – в десятки метров. Благодаря особой чистоте кристаллов, выросших при пегматитовом процессе, в пегматитах нередко встречаются драгоценные разновидности ряда минералов (корунда, берилла и других).

Кристаллизация кварца и полевого шпата в пегматитовом процессе часто идёт одновременно. В результате образуются графические структуры – взаимные прорастания кварцевых и полевошпатовых кристаллов друг другом. Пегматит с такой структурой нередко называют «письменным гранитом» или «еврейским камнем», потому, что в результате такого взаимопрорастания на поверхности возникает рисунок, напоминающий древнееврейские письмена.

На пегматитовой стадии нередко достигаются высокие концентрации ряда малораспространённых химических элементов – Li, Be, Cs и др. И на самой завершающей стадии магматического процесса их содержание может стать достаточным для того, чтобы они могли сформировать самостоятельные минеральные соединения. В результате пегматиты нередко оказываются настоящими «кладовыми» очень редких минералов - таких, как берилл, литиевые и цезиевые слюды, литиевые пироксены и очень многих других.

- 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»