Геологическая школа МГУ

Группа 11-3 2015г.

Метаморфические процессы

образования минералов

Перед тем, как начать….

- **14-15 февраля 2015 года время проведения**

- **XXII Московской открытой олимпиады по геологии 2015 года, посвященной 260-летней годовщине основания Московского университета и 165-летию со дня рождения выдающегося русского геолога И.В. Мушкетова**

- Важно! В этом году олимпиада вошла в перечень значимых мероприятий Министерства Образования!!
- Были изменены возрастные категории –
- Ваша была 11 классы – стала 10-11
- Сколько занятий хотите на подготовку к о.??

Определение

- Метаморфизмом (от греч. слова, означающего преобразуясь, подвергаясь изменению) называется процесс твердофазного минерального и структурного изменения горных пород под действием температуры и давления в присутсвиии флюида.

Метаморфизм - преобразование магматических, осадочных и ранее метаморфизованных горных пород в твердом состоянии под воздействием факторов метаморфизма: **температуры**, **литостатического давления** и **глубинных флюидов** (преимущественно водно-углекислых).

Комментарии к определению

- Флюидом называются летучие компоненты метаморфических систем. Это 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 температура

Комментарии к определению

- С ростом температуры происходят метаморфические реакции с разложением водосодержащих фаз (хлориты, слюды, амфиболы). С ростом давления происходят реакции с уменьшением объема фаз. При температурах более 600 С начинается частичное плавление некоторых пород, образуются расплавы, которые уходят на верхние горизонты, оставляя тугоплавкий остаток – рестит.

- Пример при процессе метаморфизма глинистый минерал каолинит $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$ переходит с потерей части групп (OH) в мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$, затем образуется кианит $Al_2[SiO_4]O$ – безводный минерал

По типу исходной породы (протолита) метаморфические породы делятся на:

Парапороды
Протолит – осадочная порода.

Ортопороды
Протолит – магматическая порода

Названия метаморфический пород иногда дается по названию протолита путем добавлением к названию приставки ***мета*** (напр.метабазальт).

Критерии выделения протолита

- Минералогические. Например, если есть ставролит, хлоритоид, And, Ky, Sill - это глинистые осадочные породы. Также для метапелитов (производных глинистых осадочных) характерны серицит, мусковит, кордиерит, сапфирин, встречается ПШ. Показателем может служить количество минералов в породе (если 50-60% слюд – глинисто-карбонатные породы). Для ортопород характерным признаком может служить магматический плагиоклаз (с четкими полисинтетическими двойниками, зональностью)
- Петрографические. Если в породе сохраняются реликтовые текстуры и структуры. Миндалины, (Ep, Q) – скорее всего, базальт; полосчатость – осадочная. Pl/Chl+Ep+Act – переслаивание глинисто-кремнистых и глинистых полос.
- Петрохимические. У метапелитов CaO< 5%, SiO_2 45-75%, Al_2O_3 13-26%, сумма щелочей до 7% (калия сильно больше чем натрия). У метабазитов CaO 6-13%, SiO_2 42-56%, Al_2O_3 10-20%, сумма щелочей 1-5% (калия меньше).
- Геологические. К примеру, условия залегания. Если рвущий контакт – орто-, если согласный – скорее всего, парапорода.
- Если согласно залегают кварциты – кварцито-сланцы – слюдяные сланцы – амфиболиты – мраморы, то исходные породы, соответственно: кварцевые песчаники – кварцевые песчаники с глинистым цементом – глины – мергели – карбонаты.

Термины метаморфизм и диагенез

- **Формирование осадочных пород связано с воздействием на осадки экзогенных факторов – температуры и давления, возрастающих при их погружении в ходе накопления слоистых толщ. Этот процесс формирования осадочных толщ называется диагенезом**. Метаморфические горные породы в свою очередь образуются на месте осадочных и магматических при воздействии на них глубинных флюидов, Т и Р путем перекристаллизации в твердом состоянии.
- В отличие от метаморфизма диагенез не связан с тектоническими дислокациями и внедрениями изверженных пород, сопровождаемыми подъемом ювенильных флюидов и термическими аномалиями. Его область располагается вдоль линии геотермического градиента, тогда как метаморфизм отвечает либо более высоким температурам при одинаковой глубинности, или более низкому давлению при соответствии по температуре. Так как диагенез и метаморфизм имеют существенную область перекрытия по температуре, существует сходство глубоко преобразованных осадков и слабометаморфизованных пород по парагенезисам минералов (серицит-хлорит, альбит-хлорит, мусковит-хлорит)

Типы метаморфизма

Изохимическим метаморфизмом называется тот его вид при котором состав породы меняется НЕСУЩЕСТВЕННО!!!

- Не изохимическим метаморфизмом (МЕТАСОМАТОЗОМ) соответсвенно называется тот вид для которого характерно существенное изменение состава пород (рассматривается в отдельной презентации)

Типы метаморфизма:

Региональный проявление метаморфизма на больших площадях, захватывающее целый формации пород

Локальный метаморфические изменения захватывают локальные области и приурочены к определенным геологическим объектам (разломам, интрузивным массивам).

Ударный обусловлен действием ударной волны образующейся при падении метеоритов. Мгновенное сжатие приводит к разогреву пород до 10000°С и развитию давлений до 100 ГПа

Контактовый метаморфизм развивается в приконтактовых областях интрузивных массивов. Факторами метаморфизма являются температура и флюидный поток.

Динамометаморфизм обусловлен стрессовым давлением - сжатием, ориентированным в одном направлении. Пространственно связан с крупными разломами, надвигами, сдвигами и покровами.

Изменение температуры, давления и состава флюидов приводит к изменению минерального состава первичной породы. Устойчивая минеральная ассоциация характеризующая набор факторов (T,P) называется ***метаморфической фацией***.

Контактовый метаморфизм

- в общем случае различные изменения вмещающих пород, обусловленные тепловым и химическим воздействием на них интрузивных магматических в общем случае различные изменения вмещающих пород, обусловленные тепловым и химическим воздействием на них интрузивных магматических масс. Различают метаморфизм нормальный (контактовый) и контактово-метасоматический. Первый представляет собой, по Тернеру (1949), почти изохимическое преобразование пород под влиянием высоких температур вблизи интрузивных тел в общем случае различные изменения вмещающих пород, обусловленные тепловым и химическим воздействием на них интрузивных магматических масс. Различают метаморфизм нормальный (контактовый) и контактово-метасоматический. Первый представляет собой, по Тернеру (1949), почти изохимическое преобразование пород под влиянием высоких температур вблизи интрузивных тел, происходящее обычно в статических условиях. Интенсивность этого вида контактового метаморфизма, характер вызванного им минералообразования зависят от первоначального состава пород, удаленности их от контакта, глубинности процесса, размеров, формы и характера контактов интрузивного тела, состава слагающих его пород, участия в метаморфизме летучих веществ и растворов. Типичными продуктами контактового метаморфизма являются различные роговики в общем случае различные изменения вмещающих пород, обусловленные тепловым и химическим воздействием на них интрузивных магматических масс. Различают метаморфизм нормальный (контактовый) и контактово-метасоматический. Первый представляет собой, по Тернеру (1949), почти изохимическое преобразование пород под влиянием высоких температур вблизи интрузивных тел, происходящее обычно в статических условиях. Интенсивность этого вида контактового метаморфизма, характер вызванного им минералообразования зависят от первоначального состава пород, удаленности их от контакта, глубинности процесса, размеров, формы и характера контактов интрузивного тела, состава слагающих его пород

контактово-метаморфическая горная порода, возникающая в результате воздействия интрузивных масс на вмещающие породы. Состоит из кварца, слюд, полевых шпатов, граната, андалузита, силлиманита, реже амфибола, пироксена и других минералов

изохимическое преобразование пород под влиянием высоких температур вблизи интрузивных тел, происходящее обычно в статических условиях. Интенсивность этого вида контактового метаморфизма, характер вызванного им минералообразования зависят от

Импактный (ударный) метаморфизм

Метаморфические преобразования, вызванные соударениями метеоритов с поверхностью земли, приводят к формированию особых горных пород, объединяемых под названием импактиты.

ИМПАКТИТЫ

КАТАКЛАЗИТЫ, БРЕКЧИИ
Образуются при дроблении пород

ЗЮВИТЫ
Образуются при дроблении и частичном плавлении

ТАГАМИТЫ
Образуются при ударном плавлении

Ударный космогенно-геологический метаморфизм отличается от метаморфизма, протекающего в земной коре, очень высокой скоростью, и значительно большими температурами и давлениями.

В точках соударения метеоритов с поверхностью Земли образуются метеоритные кратеры (астроблемы).

Астроблемы

Фации метаморфизма. История

- Ван-Хайз. Была выделена верхняя зона катаморфизма, в которой происходят приповерхностные процессы (под воздействием подземных вод и воздуха), и более глубинная зона анаморфизма, в которой образуются сланцы и гнейсы. Метаморфизм, по Ван-Хайзу, непосредственно связан с поверхностными процессами изменения осадков и изменением температуры и давления вследствие простого перемещения пород из одной зоны в другую. По Ван-Хайзу, с глубиной изменяется и характер деформации горных пород. В верхней зоне преобладает катаклаз, в нижней "зоне истечения" реализуются пластические деформации и формируются гнейсы и кристаллические сланцы. По характеру деформаций выделялась также промежуточная зона.
- У. Грубенман. Намечаются три зоны глубинности - эпизона, мезозона и катазона. К малоглубинной эпизоне относятся низкотемпературные породы — альбитовые гнейсы, кианитовые сланцы, филлиты, хлоритовые и тальковые сланцы и др. К промежуточной мезозоне принадлежат среднетемпературные образования (мусковитовые, роговообманковые, кианитовые, ставролитовые и другие гнейсы и сланцы). Образование высокотемпературных пород (силлиманитовых, кордиеритовых, гранатовых гнейсов, пироксеновых сланцев, эклогитов и др.) ограничивалось в основном наиболее глубинной областью — катазоной.

Фации метаморфизма

- **В основу концепции глубинных зон положено представление о возрастании с глубиной давления и температуры в соответствии с геотермическим градиентом Земли, который обуславливает повышение фоновой температуры по мере увеличения глубинности**. Различается на континентах и в подвижных зонах, где он значительно выше. При среднем геотермическом градиенте, равном 30° на 1 км, крайние его значения равны 150° для геотектонических подвижных зон и 6° на платформах. Давление рассматривалось в прямой зависимости от температуры. Отражало повышение степени метаморфизма с глубиной (в вертикальном направлении. Противоречия: 1. Ф. Бекке - объемные соотношения метаморфических реакций (Т не зависит от Р), диафторез (изменение направленности). Барроу - горизонтальная зональность метаморфизма. Гольдшмидт - зональные роговиковые ореолы в районе Осло, с помощью физико-химического анализа парагенезисов минералов показано, что они отвечают Т до 1200° и Р ниже 1000 бар. Зоны выделены по Т, а не по глубинности. **В работе было положено начало концепции минеральных фаций, которая получила развитие в трудах П. Эскола. В минеральную фацию согласно П. Эскола объединяются горные породы, образовавшиеся в сходных условиях температуры и давления, т. е. отвечающие определенным полям диаграммы Р-Т**. Не учтены: 1. Цеолитовые сланцы. Не учтен режим летучих компонентов. М/б совмещены с зелеными сланцами по условиям метаморфизма. Должно быть учтено флюидное давление. 2. нет точных границ между полями из-за нехватки термодинамических данных. 3. не учтена роль флюидного давления. 4. Не учтены минералы перменного состава.

Метапелиты - метаморфические породы, образующиеся на месте ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИИ (пелитов), суглинков, кварцевых песчаников с примесью глинистого материала.

МИНЕРАЛЬНАЕ ФАЦИИ

1.Глинистые сланцы

Состоят из Chl, Ser, каолинита (и др.характерные для глинистых отл.минералы), обладают сланцеватостью.

2.Филлиты

Это слюдяные микросланцы,состоят из Ser,Chl,Qtz (на плоскостях сланцеватости Ser укрупняется и переходит в Mu). В железистых разновидностях-Chd,St. В известковых разновидностях-Cal. В марганцевых разновидностях-Alm-Sps

3.Слюдяные сланцы

Отличаются от филлитов большим размером зерен.Chl вытесняется Bt,возрастает роль полевых шпатов(Ab,Or)

4.Двуслюдяные сланцы и гнейсы

Состав:Fsp,Qtz,Mu,Bt. В богатых глинозёмом разновидностях-And,Sil,Ky(определяют фации глубинности). В магнезиальных разновидностях-Cord(андалузитовая зона). В железистых разновидностях St,Sps(кианитовая зона).

Переход к гнейсам за счёт смены сланцеватости на гнейсовидность, преобладание слюд сменяется преобладанием полевых шпатов.

5.Метапелитовые гнейсы

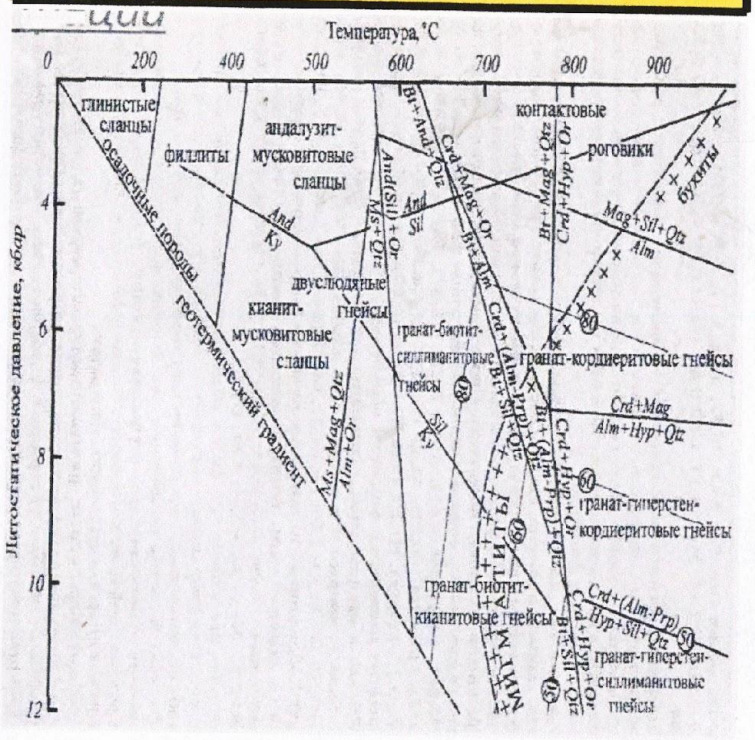
В составе преобладают Kfs,Qtz

6.Контактовые роговики

And-Bt (к-т с гранитами) Mag-Cord (к-т с диоритами) Hyp-Cord (к-т с габбро)

ОСНОВНЫЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ МЕТАПЕЛИТОВ

Chl,Ser,St,Cld,Cord,Bt,Gr,Hyp,Spr,Qtz,Pl,Kfs



Метабазиты - образуются при метаморфизме вулканитов базальтового, андезито -базальтового составов, габбро, диоритов, туффитов, туфогенных песчаников и осадочных пород аналогичного состава (глинисто-карбонатные и нек. глинистые)

Фации метабазитов

1.Порфиритоиды

Метаморфизованные рассланцованные базальты, но сохранившие реликты первичных структур и текстур (бластопарфировая структура, сохраняются только вкрапленники). Состав: Ab, Chl, Cal, Qtz, иногда Ser, Ep.

2.Зелёные сланцы

Образуются при нарастании интенсивности метаморфизма, когда порфиритоиды утрачивают реликты первичной порфировой структуры.

3.Амфиболиты

Состоят в основном из Pl и Hbl,в ассоциацию могут входить Gr,Ep,Px и др.

Структуры: порфиробластовая (Ep,Gr), гранонематобластовая, лепидонематобластовая (Chl,Bt). Текстуры: массивная,сланцеватая,гнейсовидная, полосчатая,пятнистая.

(Ep, Opx, Gr, Cpx-Gr – амфиболиты)

4.Двупироксен-плагиоклазовые сланцы(гранулиты)

Состаят из Pl, Hyp, Di, могут присутствовать Gr,зел.Hbl.Стр-ра гранобластовая Тек-ра полосчатая.

5.Эклогиты

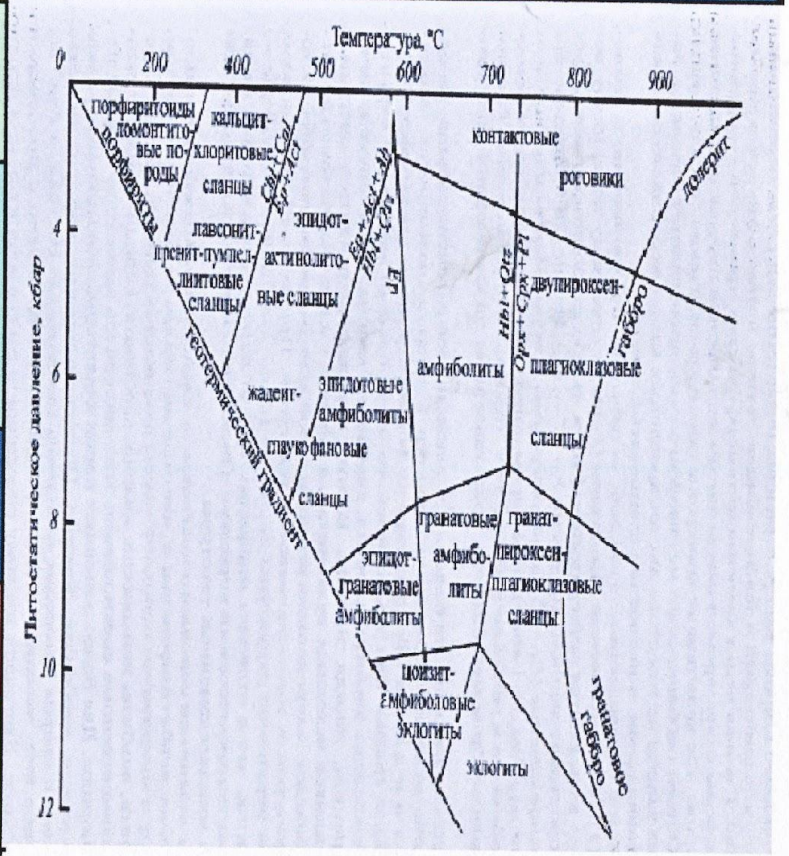
Состоит из Gr,Px,нередко содержат Hyp,бурую Hbl.

6.Контактовые роговики

Двупироксен – плагиоклазовые, пироксен-амфибол-плагиоклазовые (Di, Hyp), амфибол-плагиоклазовые (Hbl). Стр-ра роговиковая.

ОСНОВНЫЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ МЕТАБАЗИТОВ:

Chl, Cal, Ser, Ep, Pl, Qtz, Act, Hbl, Px



Особенности структур метаморфических пород

- Структуры. По размеру кристаллов породы подразделяются на микро- (до 0,1 мм), мелко- (0,1-1,0 мм), средне- (1,0-5,0 мм), крупно- (5-10 мм) и гигантокристаллические. Породы формируются при перекристаллизации исходного субстрата в твердом состоянии, и их структуры объединяются под названием бластовых.

- Если размеры зерен близки – гомеобластовая структура, если различаются – гетеробластовая (порфиробластовая – с новообразованными вкрапленниками (огромное количество ориентированных включений), бластопорфировая – реликтовые, с замещением, размытыми границами).
- Еще структуры разделяют по отношению к стрессовому давлению на протокинематические (порфиробласты образовались до появления сланцеватости), синкинематические (одновременно, ориентировка включений во вкрапленниках совпадает со сланцеватостью, последняя огибает порфиробласты) и эпикинематические (сланцеватость проходит через зерно). Структуры пород с порфиробластами, содержащими закрученные, изогнутые полосы включений – гелицитовые («снежного кома») Способность минералов образовывать порфиробласты и приобретать идиоморфные очертания связана с кристаллизационной силой. Минералы по ее возрастанию: щелочные ПШ, Qtz, Pl – Px, Amf - Grt, Ep - Mgt, титанит. **Степень идиоморфизма зерен здесь не отражает последовательность кристаллизации**. В метаморфических породах рисунок структуры во многом определяется габитусом преобладающих минералов. Изометричные зерна – гранобластовая структура (если ориентировки зерен нет, то она - роговиковая, торцовая, сотовая); листовые силикаты – лепидобластовая, длиннопризматические кристаллы – нематобластовая (фибробластовая – игольчатая). Метаморфические реакции между минералами фиксируются келифитовыми (венцовыми) каймами (обычно возникают в приповерхностных условиях). Например, такое явление имеет место на границе оливина и плагиоклаза с образованием следующих зон: оливин – магнетит – куммингтонит – паргасит. При дислокационном метаморфизме ГП подвергаются дроблению, перетиранию, возникает катакластическая структура. В результате катаклаза образуются либо гомеокластовые, либо гетерокластовые структуры

Особенности <u>текстур</u> метаморфических пород

- Текстуры. Они подразделяются на собственные и унаследованные (реликтовые).
- Среди собственных выделяется массивная (редко) и ориентированная, подразделяющаяся на плоскопараллельную, линейно-параллельную, параллельно-пластинчатую.
- Сланцеватая текстура определяется обилием в породе параллельных плоскостей, подчеркивающихся листоватыми и чешуйчатыми минералами, одинаково ориентированными в плоскости сланцеватости. По мере уменьшения роли слюд сланцы сменяются породами с гнейсовидной текстурой. В зависимости от специфики сланцеватой текстуры, определяемой главным образом минеральным составом, используются синонимы: пластинчатая, чешуйчатая, свилеватая, лентикулярная. Два последних термина относятся к разностям, переходным к гнейсовидной текстуре. Для них характерно обилие линзовидных скоплений минералов (кварца, ПШ), разделенных параллельными или ветвящимися слюдяными прослойками (свилеватая) или образующих линзовидно-слоистый рисунок (лентикулярная). Такие агрегаты могут быть продуктами оварцевания, фельдшпатизации или, наоборот, реликтами.
- Наиболее сложны полосчатые текстуры. Они могут быть как реликтовыми, так и сингенетическими. Специфические типы текстур формируются при наложении различных или разновременных процессов. К ним относятся пятнистая (в породах с неравномерным распределением темноцветных на начальных этапах перекристаллизации за счет порфиробластеза), очковая (четко выделяющиеся вкрапленники в хорошо раскристаллизованной основной массе).

- Специфическая структура для метаморфических пород – будинаж.

Это важно!!

Породообразующими минералами для метаморфических пород являются **полевые шпаты, кварц, слюды, обыкновенная роговая обманка, пироксены, оливин, кальцит, доломит минералы группы хлорита, серпентина, эпидота**. Андалузит, кианит, силлиманит, ставролит, кордиерит и хлоритоид встречаются только в метаморфических породах и служат важными минералами-индикаторами

Описание некоторых типичных минералов

Кианит (дистен) триклинная синг. Встречается в виде удлиненных призматических кристаллов, в сечении — прямоугольной формы. Цвет голубой, синий, зеленоватый, желтый или бесцветный. Спайность совершенная по [100] и менее совершенная по [010]. Кианит образуется при метаморфизме высокоглиноземистых пород и типичен для фаций повышенных давлений. Часто находится в кристаллических сланцах в парагенезисе со ставролитом.

Полиморфные модификации Al_2SiO_5
андалузит – силлиманит – кианит

Андалузит (ромбическая синг.) образует призматические кристаллы, лучисто-шестоватые агрегаты. Цвет серый, желтый, розовый, красный или бурый цвет. Спайность совершенная по [110] с углом между плоскостями спайности 89°. Андалузит формируется в условиях невысоких и средних давлений и температур. Часто содержит вкрапления мельчайших частиц углистого вещества, образующего скопления по определенным кристаллографическим направлениям (разновидность с крестообразными скоплениями называется хиастолитом). Андалузит типичен для метапелитовых роговиков и сланцев.

Силлиманит (ромбическая синг.) обращзует удлиненные призматические или игольчатые кристаллы. Волокнистые разновидность - фибролитом. Цвет белый, светло-бурый, серо-зеленый цвет, иногда совершенно бесцветный. Спайность совершенная по [010]. Силлиманит образуется при высоких температурах и давлениях. Характерен для метапелитовых роговиков, кристаллических сланцев, гнейсов.

Описание некоорых типичных минералов

Гранаты очень широко распространены в метаморфизованных породах. Спессартин ($Mn_3Al_2Si_3O_{12}$), альмандин ($Fe_3Al_2Si_3O_{12}$), пироп ($Mg_3Al_2Si_3O_{12}$), гроссуляр ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$), андрадит ($Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$). Между спессартином и альмандином, а также между альмандином и пиропом существуют непрерывные ряды твердых растворов. Гранаты кристаллизуются в кубической сингонии и образуют кристаллы, окрашенные в розоватые или буроватые цвета. Гранаты встречаются как породах как низкой ступени (филлитах) и так в породах высоких ступеней. В условиях гранулитовой и эклогитовой фаций устойчивы гранаты альмандин-пиропового состава. При повышении температуры регионального метаморфизма гранат обогащается магнием.

Ставролит $(Fe, Mg)_2$, $(Al, Fe^3)_9O_6[SiO_4]$ $(O, OH)_2$ моноклинная (псевдоромбическая) сингонии. Образует короткие призматические кристаллы красновато-бурого до буровато-черного цвета. Характерны крестообразные двойники. Спайность несовершенная в [010]. Ставролит характерен для парасланцев. Поле устойчивости ставролита при региональном метаморфизме достаточно определенно как по давлению, так и по температуре. Встречается в парагенезисе с биотитом, мусковитом, андалузитом или кианитом.

Хлоритоид $(Fe^{+2},Mg,Mn)_2(Al,Fe^{+3})Al_2O_3[SiO_4]_2(OH)_4$ моноклинной или триклинной сингонии. Образует листоватые или зернистые агрегаты темно-зеленого цвета. Спайность совершенная по [001]. Хлоритоид — низкотемпературный минерал регионально метаморфизованных железистых глинистых осадков.

Кордиерит $(Al_3(Mg_3Fe^{+2})_2$ $[SiAlO_{18}])$ (ромбическая синг.). Бесцветен или окрашен в синий, фиолетовый и желтоватый цвет. Образует зернистые агрегаты. Обычны полисинтетические двойники, секториальные тройники и шестерники. Включения в кордиерите минералов, содержащих радиоактивные элементы, окружены плеохроичными ореолами. Кордиерит появляется при метаморфизме глинистых и песчано-глинистых пород. В роговиках встречается в ассоциации с андалузитом и биотитом, в гнейсах — с силлиманитом и гранатом.

Для метаморфических пород нехарактерны некоторые главные породообразующие минералы магматических пород: нефелин, лейцит, базальтическая роговая обманка, щелочные пироксены.

Практическое значение

- Метаморфических пород в целом и метаморфогенных месторождений весьма велико!!
- Например сами гнейсы, сланцы, мрамора являются ценным строительным материалом. В них, кроме того, наблюдаются значительные скопления минералов, которые ценны сами по себе. Например месторождения граната – самоцвет (Кительское месторождение) и сырьё для абразивной промышленности.
- Надеюсь, все помнят где применяется кианит???

Перерыв????

- Гидротермальные месторождения

Гидротермальные месторождения

- образуются при отложении минералов из водных или углекисло-водных растворов. Максимальные глубины формирования этих месторождений составляют 4.5- 5 км, минимальные – отвечают поверхностным условиям.

Классификация гидротермальных месторождений

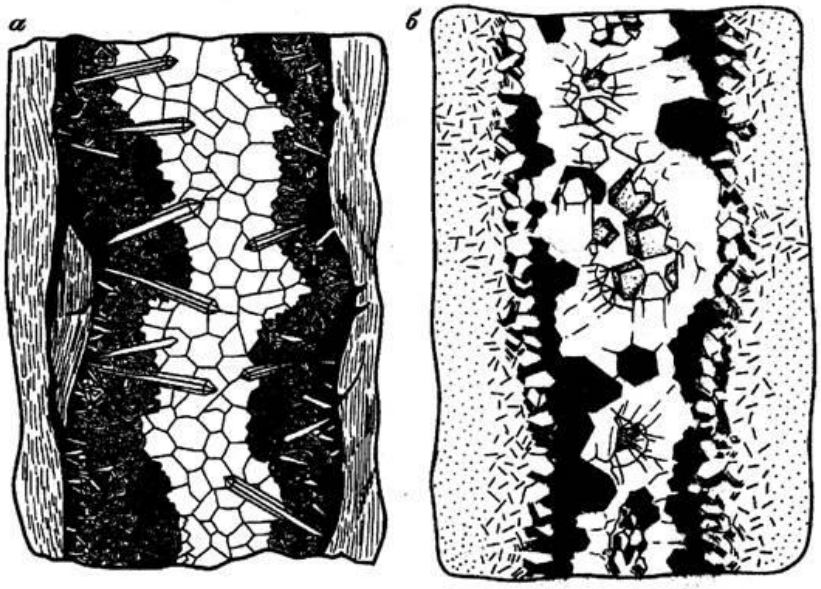
- В зависимости от температур образования принято выделять пневматолитовые (выше 400°С) и собственно гидротермальные месторождения (400 - 50°С). Несколько особняком стоят гидротермальные жилы т. наз. "альпийского типа", минералообразование в которых происходит вне зависимости от близости магматических очагов и их влияния.

С удовольсвием скажу пару слов о жилах альпийского типа…

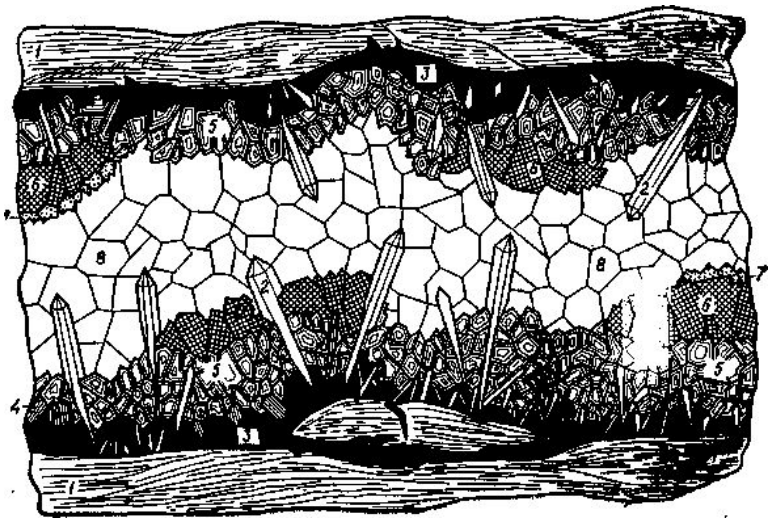
- **… Жилы альпийского типа** представляют собой особую разновидность гидротермальных представляют собой особую разновидность гидротермальных жил и минеральных месторождений. К ним относят линзовидные трещины в метаморфических представляют собой особую разновидность гидротермальных жил и минеральных месторождений. К ним относят линзовидные трещины в метаморфических породах, ориентированные вкрест простирания вмещающих пород. Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц (часто в виде горного хрусталя Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц (часто в виде горного хрусталя в крупных пустотах), адуляр Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц (часто в виде горного хрусталя в крупных пустотах), адуляр (К - полевой пат Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц (часто в виде горного хрусталя в крупных пустотах), адуляр (К - полевой пат), альбит Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц (часто в виде горного хрусталя в крупных пустотах), адуляр (К - полевой пат), альбит, хлориты Для них характерно выполнение минералами, близкими по составу к окружающим их породам. Типичными минералами альпийских жил являются кварц (часто в виде горного хрусталя в крупных пустотах), адуляр (К

Дополнительная информация

- В среднем мощность гидротермальных жил колеблется от 10-20 см до 3-4 м. Они прослеживаются по простиранию на 700-800 м, а на глубину до 500 м.



- Они редко бывают одиночными, чаще всего группируются в системы жил, сложные по характеру их взаимных пересечений.



Об источниках воды в гидротермах

- Существует несколько источников воды в гидротермальных жилах
- 1. Это могут быть застывающие магматические очаги
- 2. Вода и углекислый газ выделяются в глубинных зонах земной коры за счёт реакций дегидратации и декарбонизации глин, мергелей, известняков при процессах их регионального метаморфизма.
- 3. Источником воды может быть процессы дегазации мантии – CH_4+2O_2 = ???
- 4. Источником воды могут быть поверхностные воды, которые опускаются на глубину до 500 метров, постепенно нагреваясь и минерализуясь.

В основном, металлы, в гидротермах переносятся в виде комплексных ионов

Таблица 22. **Некоторые возможные формы переноса металлов в гидротермальных растворах** (по А. В. Зотову и др.)

Химический элемент	Форма переноса (комплексные ионы)	Условия
Медь	$(CuCl_2)^-$ $(Cu(HS)_2)^-$	Слабокислые и нейтральные растворы, относительно высокие температуры Щелочные растворы, менее высокие температуры
Молибден	$(NaHMoO_4)^0$ $(KHMoO_4)^0$ $(HMoO_4)^-$	Растворы с повышенной щелочностью, температура < 450 °C Нейтральные среды, температура > 450 °C
Золото	$(Au(HS)_2)^-$ $(AuCl_2)^-$	Температура 350—450 °C
Серебро	$(AgCl_2)^-$ $(Ag(HS)_2)^-$	Температуре > 200—250 °C Температуре < 250 °C

Некоторые типичные минералы гидротерм

Месторождения, температура			Минералы		Морфология
			главные нерудные	добываемые	
Гидротермальные	Низкотемпературные, 50—200 °C	Сурьмяно-ртутные и мышьяковые	Кварц Кальцит Флюорит	Стибнит Sb_2S_3 Киноварь HgS Аурипигмент As_2S_3 Реальгар As_4S_4	Жилы
		Флюорит-баритовые	Кварц Кальцит	Флюорит CaF_2 Барит $Ba(SO_4)$	

Месторождения, температура			Минералы		Морфология
			главные нерудные	добываемые	
Гидротермальные	Высокотемпературные, 300–500 °С	Олово-молибдено-вольфрамовые	Кварц	Касситерит SnO_2 Молибденит MoS_2 Вольфрамит $(Fe,Mn)WO_4$ Висмутин Bi_2S_3 Шеелит	Жилы
	Среднетемпературные, 150–350 °С	Полиметаллические	Кварц	Арсенопирит $Fe(AsS)$ Золото Au Халькопирит $CuFeS_2$ Сфалерит ZnS Галенит PbS	
		Урановые	Кварц Кальцит Доломит	Скуттерудит $Co_4(As_4)_3$ Никелин NiAs Висмутин Bi_2S_3 Аргентит Ag_2S Уранинит UO_2	
		Колчеданные	—	Пирит $Fe(S_2)$ Халькопирит $CuFeS_2$ Халькозин Cu_2S Сфалерит ZnS Галенит PbS	Пластовые залежи и вкрапленность
		Свинцово-цинковые	Кальцит Доломит	Галенит PbS Сфалерит ZnS	
		Медистые песчаники	Кварц	Халькопирит $CuFeS_2$ Борнит Cu_5FeS_4 Халькозин Cu_2S	

Цеолиты. Общая информация

- **Цеолиты** — большая группа близких по составу и свойствам минералов — большая группа близких по составу и свойствам минералов, водные алюмосиликаты — большая группа близких по составу и свойствам минералов, водные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов.

- Кристаллическая структураКристаллическая структура цеолитов образована тетраэдрическими группами SiO2 и ALO4, объединенными общими вершинами в трехмерный каркас, пронизанный полостями и каналами. В последних находятся молекулы воды и катионы металлов. Решетка из (Si,Al)O4 тетраэдров имеет весьма большие полости и каналы, молекулы H2O с ней связаны слабо, поэтому цеолиты легко отдают свою кристаллизационную воду и обладают способностью к обратимому катионному обмену — без разрушения кристаллической решетки.
  . На основе кристаллической структуры цеолитов возможна дальнейшая их систематизация.
  Способны отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности. Другим важным свойством цеолитов является способность к ионному обменуСпособны отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности. Другим важным свойством цеолитов является способность к ионному обмену, они способны селективно выделять и вновь впитывать различные вещества, а также обменивать катионы.
  Наиболее распространённые представители группы цеолитов:
- Натролит
- Шабазит
- Гейландит
- Стильбит (десмин)
- Морденит
- Томсонит
- Сколецит

Формирование цеолитов

- По происхождению цеолиты - гидротермальныеПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенныеПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфическиеПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиныхПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиных вулканическихПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиных вулканических пород, в песчаникахПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиных вулканических пород, в песчаниках, аркозахПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиных вулканических пород, в песчаниках, аркозах и граувакках По происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиных вулканических пород, в песчаниках, аркозах и граувакках; в трещинах и пустотах гнейсовПо происхождению цеолиты - гидротермальные, экзогенные, реже метаморфические минералы. Встречаются в миндалиных вулканических пород, в песчаниках, аркозах и граувакках; в трещинах и пустотах гнейсов и кристаллических сланцев.

Распространены довольно широко главным образом в низкотемпературных гидротермальныхРаспространены довольно широко главным образом в низкотемпературных гидротермальных жилах, а также в миндалинах и трещинах эффузивных пород, где образуются как продукт поствулканических процессов и находятся в ассоциации с кальцитом где образуются как продукт поствулканических процессов и находятся в ассоциации с кальцитом, кварцем где образуются как продукт поствулканических процессов и находятся в ассоциации с кальцитом, кварцем, селадонитом где образуются как продукт поствулканических процессов и находятся в ассоциации с кальцитом, кварцем, селадонитом, халцедоном где образуются как продукт поствулканических процессов и находятся в ассоциации с кальцитом, кварцем, селадонитом, халцедоном (агатом). При образовании цеолитов есть некоторая последовательность, заключающаяся в том, что сначала выделяются цеолиты, богные

Примеры гидротермальных месторождений

- **Хрусталеносные альпийские жилы Альп и Приполярного Урала.**
- **Полиметаллические месторождения Приморья (Дальнегорск)**
- **Сурьмяно-ртутные месторождения Киргизии (Хайдаркан, Кадамджай, Чаувай)**

К следующему разу посмотрите пожалуйста эти 3 короткие и простые презентации по гипергенному минералообразованию

- Презентации по гипергенным минералм железа, меди, свинца, цинка
- http://spiridonov.mineralog.com/programma-kursa/tretya-chast-kursa/uchebnyy-material/ т.к.
- многие из вас «писали» Ломоносова, когда мы говорили о некоторых основах гипергенного минералообразования

Ну и наконец…

- Несколько геолого-минералогических стихотворений раз уж вы все такие творческие…
- Начнем с одного из лучших
- Пушкин в геологии

Пушкин в геологии

- Я Вас люблю, чего же боле,
- Что я могу еще сказать?
- Я уезжаю завтра в поле
- Чтоб снова керн поцеловать
- От карадока и до бата,
- От доломитов до кремней
- Я керн люблю любовью брата
- А может быть еще сильней!
- 1985

Историческая справка

«Анна» — Анна Керн (1800—1879), урожд. Полторацкая. [16]) — адресат самого известного любовного стихотворения Пушкина — «К * * *» («Я помню чудное мгновенье…»), хотя в биографии Пушкина и шутливое игровое увлечение в Псковской губернии, и мимолётная близость через три года в Петербурге серьёзной роли не играли; в письмах Пушкина друзьям есть и довольно циничные замечания о Керн.

И еще несколько геолого-минералогических стихов!!.