

## 2 Лекция. Эндогенный процесс (пневматолитовый и гидротермальный стадии)

Собственно-  
магматический

Пегматитовый

Эндогенные магматические  
процессы

Пневматолитовый

Гидротермальный

# Пневматитовый процесс

**Пневматолитовый процесс (пневматолиз)** – образование минералов из газовой фазы. При остывании магмы выделяются газы, они двигаясь вверх и проникая в трещины пород оставляют минералы. Образованные при пневматолизе горные породы называются пневматолитами и делятся на две группы.

**Группа вулканическая.** Горные породы образуются при извержении лавы на поверхность Земли или вблизи поверхности. При этом выделяются – поры воды,  $HCl$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_4Cl$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ , натрий, калий, соединения кальция с хлором и серой, железо, медь, марганец, свинец, бор, фтор, бром, фосфор и другие соединения элементов.



**Глубинные пневматолиты.** Образуются в земной коре при выделении газа на глубине. Примером глубинного пневматолиза являются **грейзены**. Кроме этого образуются осадочно-метаморфические породы. В грейзенах основные минералы – кварц и мусковит.



# Пневмалитовый процесс

**Грейзены** — образованы при магматической эманации (газы и водные растворы) гранитов и жильных магматических горных пород. В составе грейзенов главными минералами являются кварц, мусковит и часто лепидолит, топаз, турмалин, флюорит, берилл, рутил. Характерны рудные минералы - кассiterит и вольфрамит, реже молибденит и арсенопирит.





Вулканические газы в большом количестве поднимаются в верх и внедряются в атмосферу. Из газовой фазы в трещинах лав, в жерлах вулканов кристаллизуются аморфная сера, минералы бора, хлориды и сульфаты.

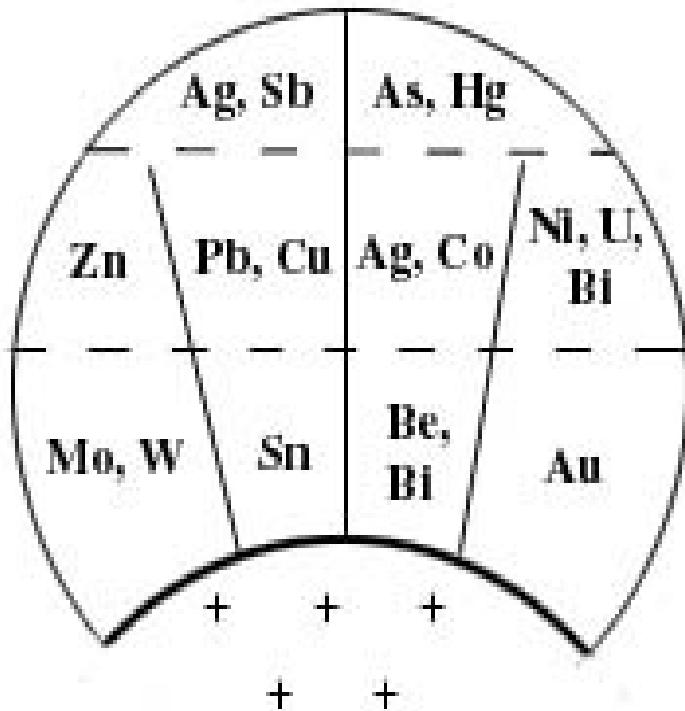
**Полезные ископаемые связанные с пневматолитовым процессом.** Редко формируются промышленные месторождения полезных ископаемых. Например, на Камчатка, Курильских островах, Японии, Чили находятся малые месторождения серы, в Италии добывают природную борную кислоту - сассолин  $B(OH)_3$ . С базальтовыми магмами срединно-океанического хребта Тихого океана на глубине 2,5 км отмечаются сульфидные залежи мощностью 10 м, в них отмечены: пирит, марказит, пирротин, халькопирит, кубанит, сфалерит, вюрцит, в небольшом количестве сульфаты – гипс, ярозит, аморфты кремнезем, гетит, барит, цеолиты.

# Гидротермальный процесс

**Гидротермы** – это выделившиеся из магмы горячие водные растворы или образованные при остывании магмы до критической температуры ( $574^{\circ}\text{C}$ ). В этом случае летучие компоненты в их составе переходят в жидкое состояние и образуют гидротермальные растворы. Растворы проникают в трещины раскристаллизованных магматических пород, в их внешние зоны или в трещины вмещающих горных пород и постепенно сгущаясь начинают отлагать привнесенные с собой растворенные вещества (металлические соединения).

Гидротермальные процессы могут быть:

- **высокотемпературными** ( $300\text{-}450^{\circ}\text{C}$ ), они наиболее близко расположены к материнской интрузии чем остальные;
- **среднетемпературные** ( $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$ );
- **низкотемпературные** ( $200^{\circ}$ ), расположены дальше всех от интрузии.



## Схема минерализации гидротермальных жил по мере удаления от источника гидротермальных растворов

Полезные ископаемые связанные с гидротермальными процессами: высокотемпературные ( $450\text{-}300^{\circ}\text{C}$ ) месторождения вольфрамита, кассiterита, молибденита, среднетемпературные ( $300\text{-}320^{\circ}\text{C}$ ) месторождения меди, золота, свинца, цинка, серебра. Низкотемпературные (ниже  $200^{\circ}\text{C}$ ) месторождения сурьмы и ртути.

**Низкотемпературный**

**Стемреднепературный**

**Высокотемпературный**

# Таблица – Минералы гидротермальных жил

| Минералы            |                     |                    |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Высокотемпературные | Среднетемпературные | Низкотемпературные |
| Кварц               | Кварц               | Кварц              |
| Берилл              | Сидерит             | Кальцит            |
| Топаз               | Барит               | Барит              |
| Флюорит             | Флюорит             | Халцедон           |
| Кассiterит          | Серицит             | Флюорит            |
| Вольфрамит          | Алтын               | Исланд шпаты       |
| Арсенопирит         | Пирит               | Киноварь           |
| Молибденит          | Халькопирит         | Антимонит          |
| Пирит               | Галенит             | Реальгар           |
| Пирротин            | Сфалерит            | Аурипигмент        |
|                     | Борнит              | Алтын              |
|                     |                     | Күнгірт кендер     |
|                     |                     | Марказит           |

Гидротермального происхождения: руды цветных металлов (*Cu, Pb, Zn*), редких и радиоактивных металлов (*W, Mo, Sn, Bi, Sb, As, Hg, U, Ra, Th*), золото, и многие неметаллические полезные ископаемые.

В.И. Смирнов разделил гидротермальные месторождения полезных ископаемых на 3 класса: плутоногенные, вулканогенные и амагматогенные или телетермальные (стратиформные). Плутоногенные минеральные ассоциации связаны с кислыми и кисловатыми горными породами (таблица). Они не удаляются далеко от магматических горных пород. Процесс проходит в интервале температуратуры от 450 до 50°C.

Таблица – Плутоногенные минеральные парагенетические ассоциации рудных жил

| Минералы                                 |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Жильные                                  | Рудные  | Практическое<br>использование   |   |
| 1  | 2   | 3   |   |
| Олово, вольфрам и молибденовые жилы      |   |   |   |
| Кварц,<br>мусковит,<br>топаз,<br>кальцит | адуляр,<br>флюорит,   | Кассiterит, вольфрамит,<br>арсенопирит,<br>молибденит<br>берилл, пирит, пирротин,<br>халькопирит, шеелит,<br>золото, магнетит | Кассiterит,<br>вольфрамит,<br>молибденит, берилл,<br>золото |
| Золото-кварцевые жилы                    |   |   |   |
| Кварц, барит                             | Пирит, халькопирит,<br>арсенопирит, галенит,<br>золото, блеклые руды,<br>шеелит | Золото  |   |

## Кобальт-никель-серебро-висмут-урановые жилы (шестиэлементная формация)

|                 |          |   |   |
|-----------------|----------|---|---|
| Кварц,<br>барит | кальцит, | Кобальтин, серебро,<br>блеклые руды, гематит,<br>настуран, висмут | Кобальтин, серебро,<br>настуран, висмут |
|-----------------|----------|---|---|

## Полиметаллические и свинцово-цинковые жилы

|                             |                      |  |   |
|-----------------------------|----------------------|--|---|
| Кварц,<br>барит,<br>флюорит | кальцит,<br>сидерит, | Халькопирит, сфалерит,<br>галенит, пирит,<br>пирротин, золото,<br>арсенопирит, блеклые<br>руды, борнит | Халькопирит,<br>сфалерит, галенит,<br>золото, блеклые руды,<br>борнит |
|-----------------------------|----------------------|--|---|

Вулканогенные гидротермальные минеральные ассоциации образуются на глубине 1-2 км аспайды (таблица).

# Таблица – Минеральная ассоциация вулканогенно-гидротермальных рудных жил

| Минералы   |   |                          |
|--|---|--------------------------|
| Жильные  | Рудные  | Практически ценные       |
| Золото-кварцевые и золото-серебряные жилы            |   |                          |
| Кварц,<br>халцедон,<br>адуляр,<br>флюорит,<br>барит  | Золото, пирит,<br>марказит,<br>халькопирит,<br>сфалерит,<br>антимонит | Золото, теллуриды золота |
| Кварц-кассiterитовые и сульфидно-кассiterитовые жилы |   |                          |
| Кварц, топаз,<br>хлорит,<br>турмалин                 | Кассiterит,<br>пирротин,<br>пирит,<br>халькопирит,<br>арсенопирит     | Кассiterит               |

## Медно-молибденовые руды

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Кварц-серицитовые горные породы, вторичные кварциты | Пирит, халькопирит, молибденит, борнит, блеклые руды, галенит, сфалерит | Халькопирит, борнит, молибденит |
|---|---|---------------------------------|

## Колчеданные залежи

|                  |        |  |  |
|------------------|--------|--|--|
| Кварц, карбонаты | барит, | Пирит, халькопирит, сфалерит, блеклые руды, борнит, золото | Халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, золото |
|------------------|--------|--|--|

**Амагматогенные гидротермальные растворы.** В нижних границах литосферы вместе с осадочными горными породами встречаются вода и газ в значительном количестве, они бывают свободные (подземные, грунтовые воды), и связанные (кристаллизационные, колloidные воды). Вся литосфера обогащена водой и газами.

Поверхностные и близповерхностные воды слабоминерализованы, а на глубине превращаются в рассолы с минерализацией 300 г/л и даже выше. На глубине 4-5 км температура этих вод достигает 150°. Эти **амагматогенные гидротермальные** обогащаются из вмещающих толщ элементами рудных месторождений *Cu, Pb, Zn*, «летучими» соединениями *S, F, B, Li, As* и др. Они транспортируют элементы в ионной и колloidной сложной коэволюционной форме, а при изменении условий они отлагаются трудно растворимые соединения в виде минеральных тел.

Таблица - Амагматогенные (тетермальные)  
гидротермальные жильные рудные минералы

| Минералы  |   |   |
|---|---|---|
| Жильные   | Рудные  | Практически ценные                        |
| 1   | 2   | 3   |
| Месторождения типа медистых песчаников          |   |   |
| Песчаники с карбонатным цементом                | Борнит, халькопирит, галенит, пирит, сфалерит, Блеклые руды | Борнит,халькопирит, галенит, блеклые руды |
| Свинцово-цинковые (стратиформные) месторождения |   |   |
| Карбонаты, барит, халцедон, кварц               | Галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, марказит             | Галенит, сфалерит                         |

## Мышьяковые месторождения

|                                      |          |          |
|--------------------------------------|----------|----------|
| Кальцит, доломит, кварц, опал, барит | Киноварь | Киноварь |
|--------------------------------------|----------|----------|

## Сурьмяные месторождения

|                           |           |           |
|---------------------------|-----------|-----------|
| Кварц, карбонаттар, барит | Антимонит | Антимонит |
|---------------------------|-----------|-----------|

## Ртутно–сурьмяные месторождения

|  |                               |                     |
|--|-------------------------------|---------------------|
| Карбонаттар, кварц, халцедон, флюорит, барит | Киноварь, антимонит, марказит | Киноварь, антимонит |
|--|-------------------------------|---------------------|

|   |  |                     |
|---|--|---------------------|
| Ртутно- мышьяковые месторождения              |  |                     |
| Кальцит, доломит, кварц, опал, флюорит, барит | Киноварь, антимонит, марказит, реальгар, аурипигмент | Антимонит, киноварь |
| Флюоритовые месторождения                     |  |                     |
| Кварц, халцедон, кальцит, опал, барит         | Флюорит  | Флюорит             |
| Баритовые месторождения                       |  |                     |
| Кварц, кальцит, флюорит                       | Барит  | Барит               |