

## Генезис минералов (2)



morozov.minsoc.ru



## гидротермальные жилы

этапы гидротермального процесса:

- 1) образование горячих водных растворов:  
постмагматических или  
«отжатых» из пород при метаморфизме
- 2) просачивание растворов по трещинам в земной коре;  
частичное растворение вещества окружающих пород
- 3) кристаллизация минералов:  
в жилах  
прослоями между осадочных пород, в виде цемента  
в виде вкрапленности

сплошные залежи сульфидов называют колчеданными рудами

2

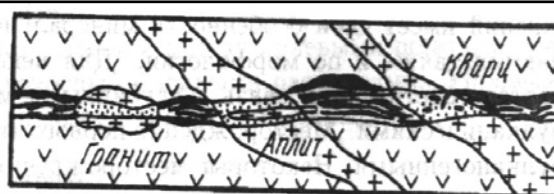
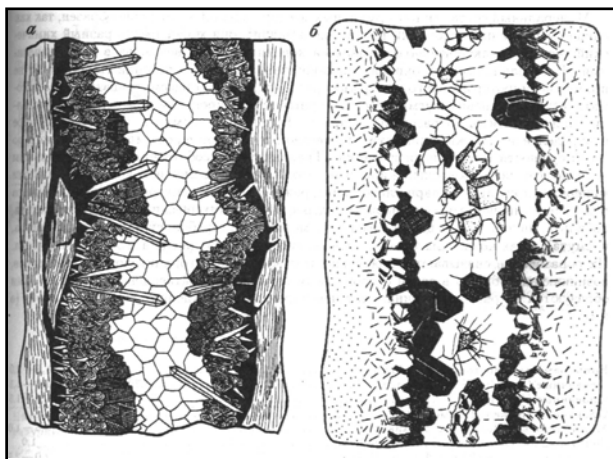


Рис. 86. Зависимость состава метасоматических жил от окружающих горных пород.

В кварцевых жилах месторождения Бьют (США) медно-рудные минералы (черное) отлагаются почти всегда в тех же частях жил, которые залегают в граните.

4

## гидротермальные жилы

минеральный состав зависит от:

- 1) температуры гидротермального раствора
- 2) состава вмещающих пород

5

## зависимость состава гидротермальных месторождений от температуры образования

| температура                       | компоненты руд                      | нерудные минералы                 |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| высокотемпературные<br>300-500 °С | Sn, Mo, W, Bi,<br>Ta, Nb, самоцветы | кварц, мусковит                   |
| среднетемпературные<br>150-350 °С | Cu, Zn, Pb, Au,                     | кварц                             |
|                                   | Co, Ni, Ag, Bi, U                   | кварц, кальцит,<br>доломит        |
| низкотемпературные<br>50-200 °С   | Sb, Hg, As                          | кварц, кальцит,<br>флюорит, барит |

помечены элементы, входящие в состав сульфидов

6

## Генезис минералов:

гипергенный  
(зоны окисления)

7

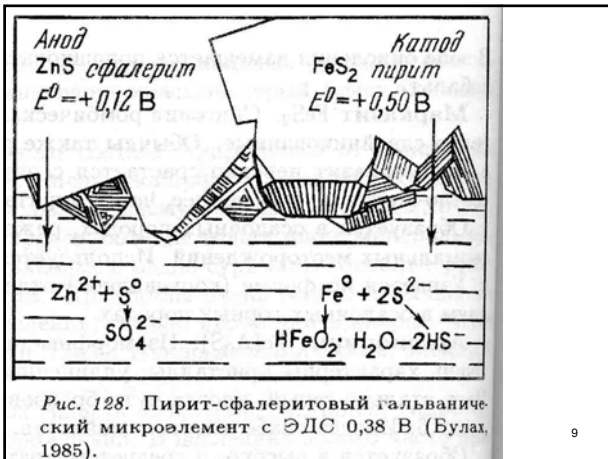
## ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ

Зоны окисления сульфидных руд = вторичные руды

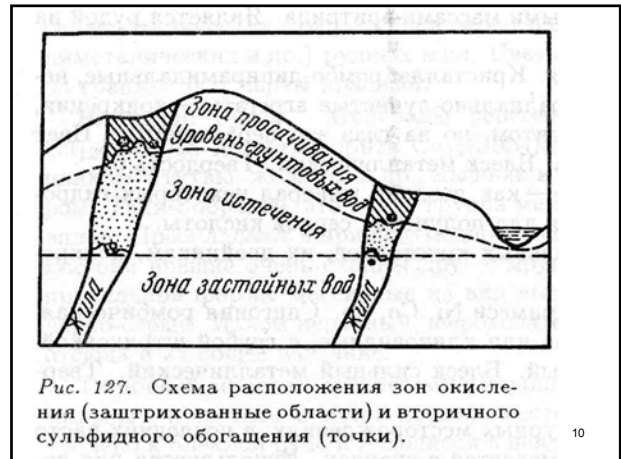
факторы минералообразования:

- 1) электрохимические процессы
- 2) деятельность бактерий
- 3) активность кислорода
- 4) направление тока воды

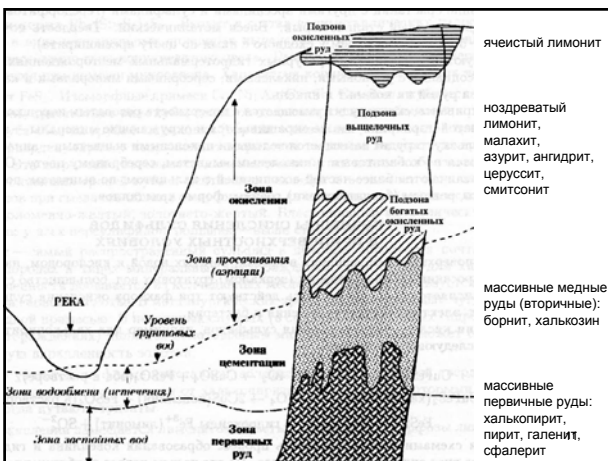
8



9



10



11

## Генезис минералов:

гипергенный  
(коры выветривания)

12

## коры выветривания

факторы минералообразования:  
 состав исходных пород  
 поверхностные и подземные воды  
 климат  
 деятельность живых организмов

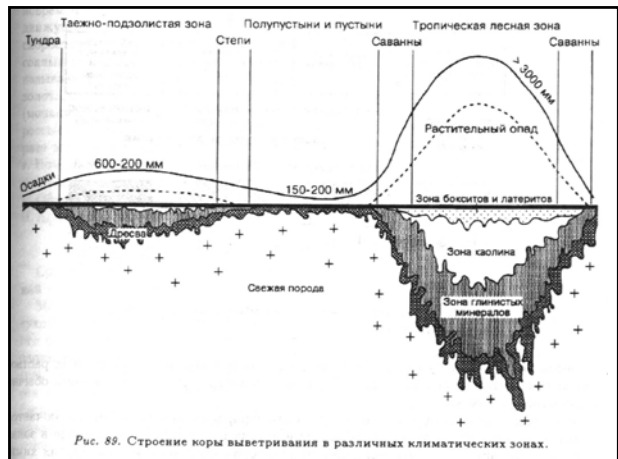
формы тел: коры

минеральный агрегат: плотные или землистые массы

минеральный состав:  
 гидроксиды железа и алюминия, глинистые минералы,  
 кварц и опал, серпентин, остаточные минералы

полезные ископаемые: бокситы (Al), глины; Ni, PGE

13



## Природные воды

Реакции минералов с водным раствором:

а) части раствора фиксируются в неподвижном виде

гидратация и гидролиз (образование минералов, содержащих  $H_2O$  и  $OH^-$ )  
 ангидрит  $\rightarrow$  гипс  
 магнетит  $\rightarrow$  гетит  
 оливин  $\rightarrow$  серпентин, хлорит, тальк  
 мусковит  $\rightarrow$  каолинит

сорбция растворенных примесей  
 минералы глин, гидроксиды Fe-Mn сорбируют тяжелые металлы

образование нерастворимых соединений  
 кальцит +  $Zn^{2+}$   $\rightarrow$  смитсонит *фиксация цинка*

б) в раствор поступают новые компоненты

растворение и образование растворимых соединений  
 сильвин  $\rightarrow Na^+ + Cl^-$   
 кальцит  $\rightarrow [CO_3]^{2-}$  *кислые растворы!*

окисление и разрушение  
 пирит  $\rightarrow$  гетит +  $[SO_4]^{2-}$  *кислые растворы с очень низким pH!*

16

## Генезис минералов: осадочные породы

### Осадочное происхождение горных пород и минералов:

#### Механические осадки (обломочные породы)

Россыпи - скопления на суше или на дне водных бассейнов мелких обломков, включающих в себя зерна или кристаллы минералов в промышленных концентрациях.

Образуются за счет разрушения коренных пород и переотложения минералов.

В россыпях накапливаются минералы, наиболее устойчивые к процессам выветривания (механическим, химическим и пр.):

- устойчивы к окислению
- малорастворимы
- имеют повышенную прочность (твердые, а спайность плохая)
- имеют повышенную плотность (оседают, а не уносятся потоками)

17

Тяжелые минералы россыпей (добываемые):

Золото  
 Платина  
 Гидроксиды железа  
 Турмалин  
 Магнетит  
 Гематит  
 Гранаты (в т.ч. пироп)  
 Пироксены  
 Алмаз  
 Ильменит  
 Циркон  
 Касситерит  
 минералы Ta-Nb



**Осадочное происхождение горных пород и минералов:**

**а) Хемогенные осадки из истинных водных растворов (эвапориты)**

Формируются в результате испарения воды в условиях жаркого климата.

Облик породы – кристаллически-зернистый, мраморовидный и т.п.



**Осадочное происхождение горных пород и минералов:**

**а) Хемогенные осадки из истинных водных растворов (эвапориты)**

Порядок образования минералов определяется их растворимостью в воде:

кальцит →  
гипс (при диагенезе переходит в ангидрит)  
→ галит  
→ сильвин и хлориды Mg  
→ бораты



**Осадочное происхождение горных пород и минералов:**

**б) Хемогенные осадки из коллоидных растворов**

Формируются в результате свертывания коллоидов, переносимых реками в океан.

Дальность переноса коллоидов в океане зависит от их устойчивости: при смене пресной воды на соленую коллоиды теряют эл. заряд и коагулируют.

Облик породы – скрытокристаллический, землистый, оолитовый и т.п.



**Осадочное происхождение горных пород и минералов:**

**б) Хемогенные осадки из коллоидных растворов**

**минералы:**

r/o Fe, Mn    лимонит    пиролюзит  
r/o Si        опал    халцедон    кварц  
глины        каолин  
карбонаты    сидерит

Облик породы – скрытокристаллический, землистый, оолитовый и т.п.



**Осадочное происхождение горных пород и минералов:**

**Биогенные осадки**

Органогенно-осадочные месторождения.

Источник: органоминеральные агрегаты живых организмов, накапливающиеся при их отмирании.

Минеральный состав тканей живых существ:

зубы и кости – апатит  
скорлупа птичьих яиц - кальцит  
раковины моллюсков, твердые части кораллов и др. – кальцит и арагонит  
некоторые виды планктона, водорослей – опал  
всего – около 80 минералов

Полезные ископаемые:

строительные камни, известняк и доломит, фосфориты, каустобиолиты.

23

**Генезис минералов:**

**метаморфические породы**

24

**Метаморфический генезис** – образование минералов в результате изменения твердых пород под воздействием температуры, давления и химически-активных флюидов.

Причины роста температуры (Т) и давления (Р):

| процесс                       | рост Т | рост Р |
|-------------------------------|--------|--------|
| погружение пород на глубину   | +      | +      |
| тектонические движения        | +      | +      |
| внедрение магмы               | +      |        |
| поступление горячих растворов | +      |        |
| падение астероидов и т.п.     | +      | +      |

При метаморфизме может также происходить **метасоматоз** = изменяться химический состав твердой породы

25

**Генетические типы метаморфизма:**

- региональный** – преобразование крупных сегментов земной коры под воздействием Т и Р на глубине (площади размером в сотни - тысячи км<sup>2</sup>)
- контактовый** – температурное преобразование пород на контакте с внедряющейся магмой (интрузией)
- импактный** – ударный метаморфизм при падении метеоритов

26

**Региональный метаморфизм** – главный тип метаморфизма.

При близких РТ-условиях образуются однотипные метаморфические породы.

Характерные диапазоны условий называются **ФАЦИЯМИ** метаморфизма

**Фация** определяет характерный облик породы (англ. face – лицо)

27

**Региональный метаморфизм**

**Главные фации регионального метаморфизма:**

| примерные условия образования                  | характерные минералы                                 |
|--|--|
| глубина Т, град. Р, МПа                        |  |
| <b>зеленсланцевая</b> до 10 км 150-500 200-500 | хлорит, актинолит, серпентин, эпидот, тальк, кальцит |

28

**Региональный метаморфизм**

**Главные фации регионального метаморфизма:**

| примерные условия образования                  | характерные минералы  |
|--|---|
| глубина Т, град. Р, МПа                        |   |
| <b>зеленсланцевая</b> до 10 км 150-500 200-500 | хлорит, актинолит, серпентин, эпидот, тальк, кальцит  |
| <b>амфиболитовая</b> до 25 км 200-700 500-800  | биотит/мусковит, ПШ, амфиболы, Al-гранаты, кианит<br><b>мраморы</b> – кальцит, доломит, флогопит... |

29

**Региональный метаморфизм**

**Главные фации регионального метаморфизма:**

| примерные условия образования                  | характерные минералы   |
|--|--|
| глубина Т, град. Р, МПа                        |  |
| <b>зеленсланцевая</b> до 10 км 150-500 200-500 | хлорит, актинолит, серпентин, эпидот, тальк, кальцит   |
| <b>амфиболитовая</b> до 25 км 200-700 500-800  | биотит/мусковит, ПШ, амфиболы, Al-гранаты, кианит<br>мраморы – кальцит, доломит, флогопит... |
| <b>гранулитовая</b> до 30 км 400-900 800-1000  | кварц, пироксены, Al-гранаты   |
| <b>эклогитовая</b> до 30 км 850-1000 >1000     | пироксены, пироп, алмаз  |

конечная стадия метаморфизма – **плавление породы** (возникновение магматического расплава)

30

Типы метаморфизма по направлению процесса:

**прогрессивный** – рост температуры, давления (погружение пород)

**регрессивный** – падение температуры, давления (выход пород на поверхность)

31

Преобразование минералов при **прогрессивном** метаморфизме:

1) Обезвоживание  
удаление H<sub>2</sub>O и OH:

**каолинит** – **мусковит** – **кианит**  
 $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$  –  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$  –  $Al_2[SiO_4]O$



32

Преобразование минералов при **прогрессивном** метаморфизме:

1) Обезвоживание  
удаление H<sub>2</sub>O и OH:  
**каолинит** – **мусковит** – **кианит**  
 $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$  –  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$  –  $Al_2[SiO_4]O$

2) Перекристаллизация  
образование ориентированных агрегатов (чешуйчатых, сланцеватых...)

3) Полиморфные превращения  
образование минералов с более плотными упаковками атомов, более симметричными структурами

4) Исчезновение минералов, неустойчивых при высоких P-T-параметрах

5) Возникновение минералов, устойчивых при высоких P-T-параметрах  
некоторые минералы не образуются из магмы – их присутствие в породе является признаком метаморфизма:  
**кианит, гранат, ставролит и др.**

33

При **регрессивном** метаморфизме – преобразования обратные, при условии подвижности химических компонентов.

Но при росте давления из породы отжимается часть компонентов в форме гл. обр. водного флюида!

Поэтому часто обратные преобразования не происходят.

34