

# **ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Лекция 1

Характеристика минерального  
сырья

# **ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Совокупность процессов механической обработки минерального сырья с целью отделения полезных минералов от вмещающей породы называется **ОБОГАЩЕНИЕМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**, которому подвергается более 90 % добываемого сырья

В случае углей – удаление примесей

# Движущие силы разработки и переработки минерального сырья

- Потребности экономики
- Социальные

# ТЕРМИН «РУДА»

Рудными считаются горные породы с концентрированным кондиционным содержанием полезного компонента, из которых возможно и экономически рентабельно извлекать ценные минералы.

По *количеству* извлекаемых из них  
компонентов:

**Монометаллические** (только один  
ценный компонент)

Полиметаллические (два и более  
ценных компонентов)

# Классификация руд по ценному компоненту

- Руды по содержанию ценных компонентов выделяют:
  - **богатые,**
  - **бедные,**
  - **забалансовые.**
- Для разных типов руд кондиции на содержание в них ценных компонентов неодинаковы.
- Например для колчеданных руд, богатые **медные** руды содержат меди более 1,5 %, бедные медные - менее 1,5 %, забалансовые медные - менее 0,3 %;
- богатые **железные** руды содержат железо более 45,0 %, бедные железные - менее 45,0 %, забалансовые железные - менее 10,0 %;
- богатые **молибденовые**, руды содержат молибдена более 0,1 %, бедные молибденовые - менее 0,08 %, забалансовые - менее 0,01 %.

По **размеру вкрапленности зерен** полезных минералов:

Крупновкрапленные (более 2 мм)

Мелковкрапленные (0,2-2 мм)

Тонковкрапленные (менее 0,2 мм)

Весьма тонковкрапленные (менее 0,02 мм)

# Месторождения промышленных руд по характеру происхождения бывают:

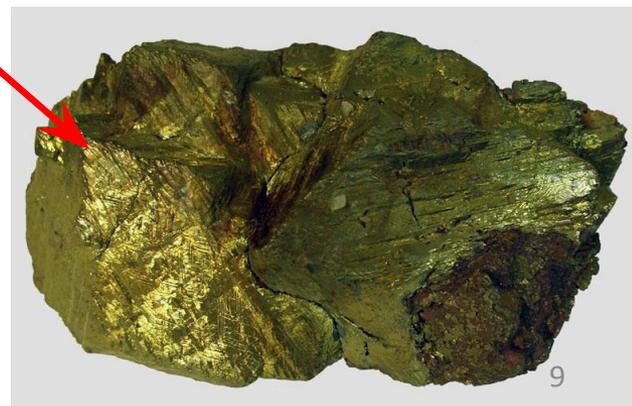
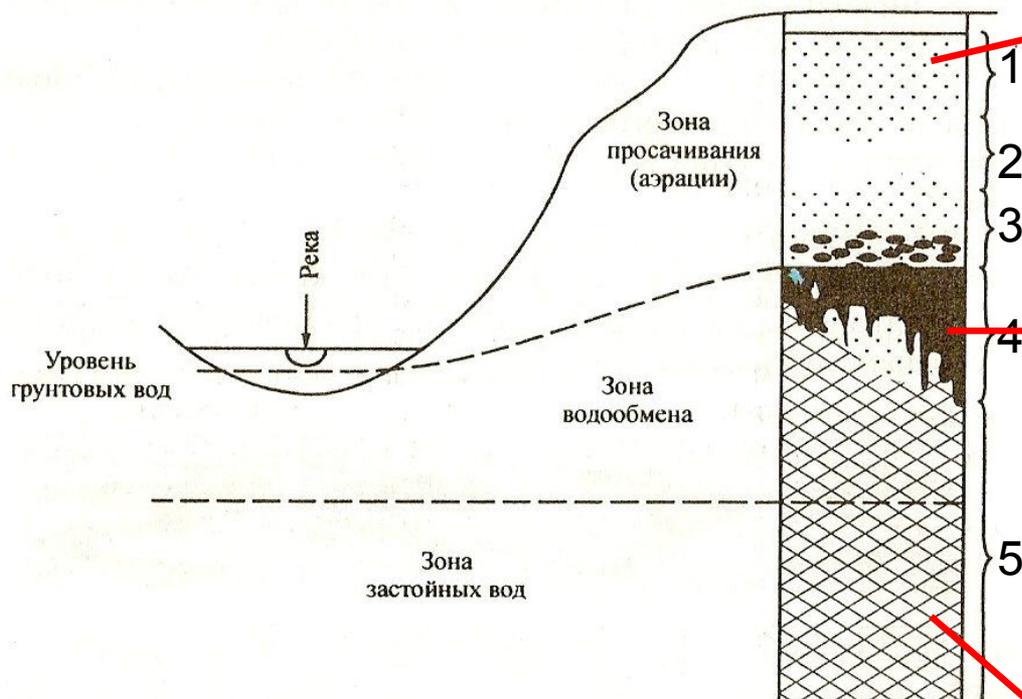
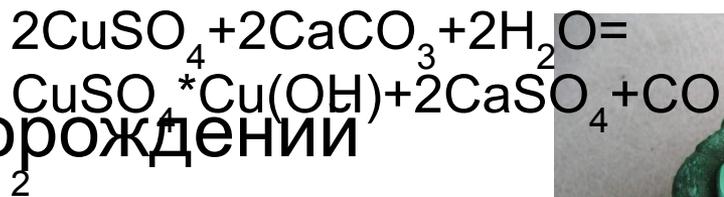
## Коренные

Коренные залегают в местах первоначального образования. Ценные минералы и минералы вмещающей породы находятся в тесной ассоциации между собой

## Россыпные

Вторичные месторождения, образовавшиеся в результате разрушения первичных коренных месторождений и вторичного отложения материала из первичных руд. Сротки в россыпях отсутствуют

# Зона окисления сульфидных месторождений



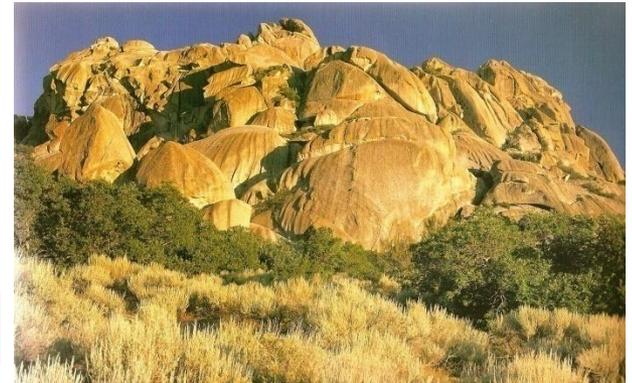
Модель зональности окисления сульфидных рудных тел. По В.И.Смирнову:

1- подзона оксидных руд, 2- подзона выщелоченных руд, 3- подзона богатых оксидных руд, 4- зона вторичного обогащения, 5- зона первичных руд.

# Основы петрографии – науки о горных породах



# Процессы минералообразования



1. Гранитный батолит, США



2. Вулкан Этна 11.07.2006



4. Касситерит-кварцевая руда, мест. Ближнее



3. Кварц-полевошпатовый агрегат, Урал

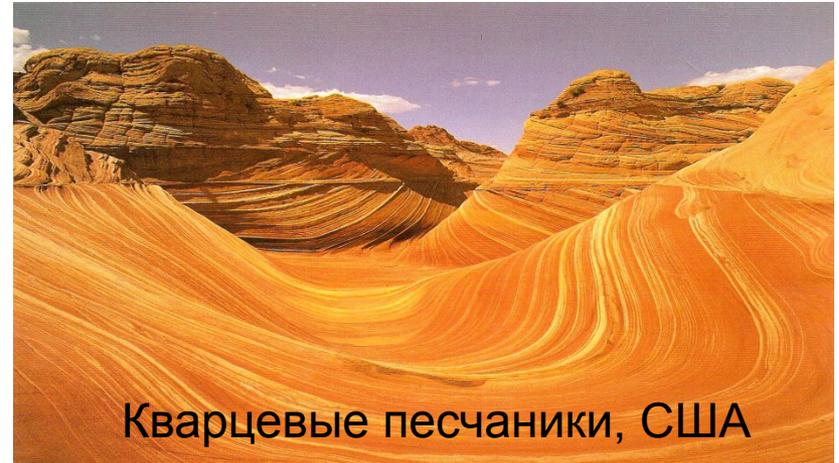
# Магматические породы

1. Интрузивные (глубинные)
2. Эффузивные (излившиеся)
  - 2.1. Пирокластические
3. Гипабиссальные (жильные)

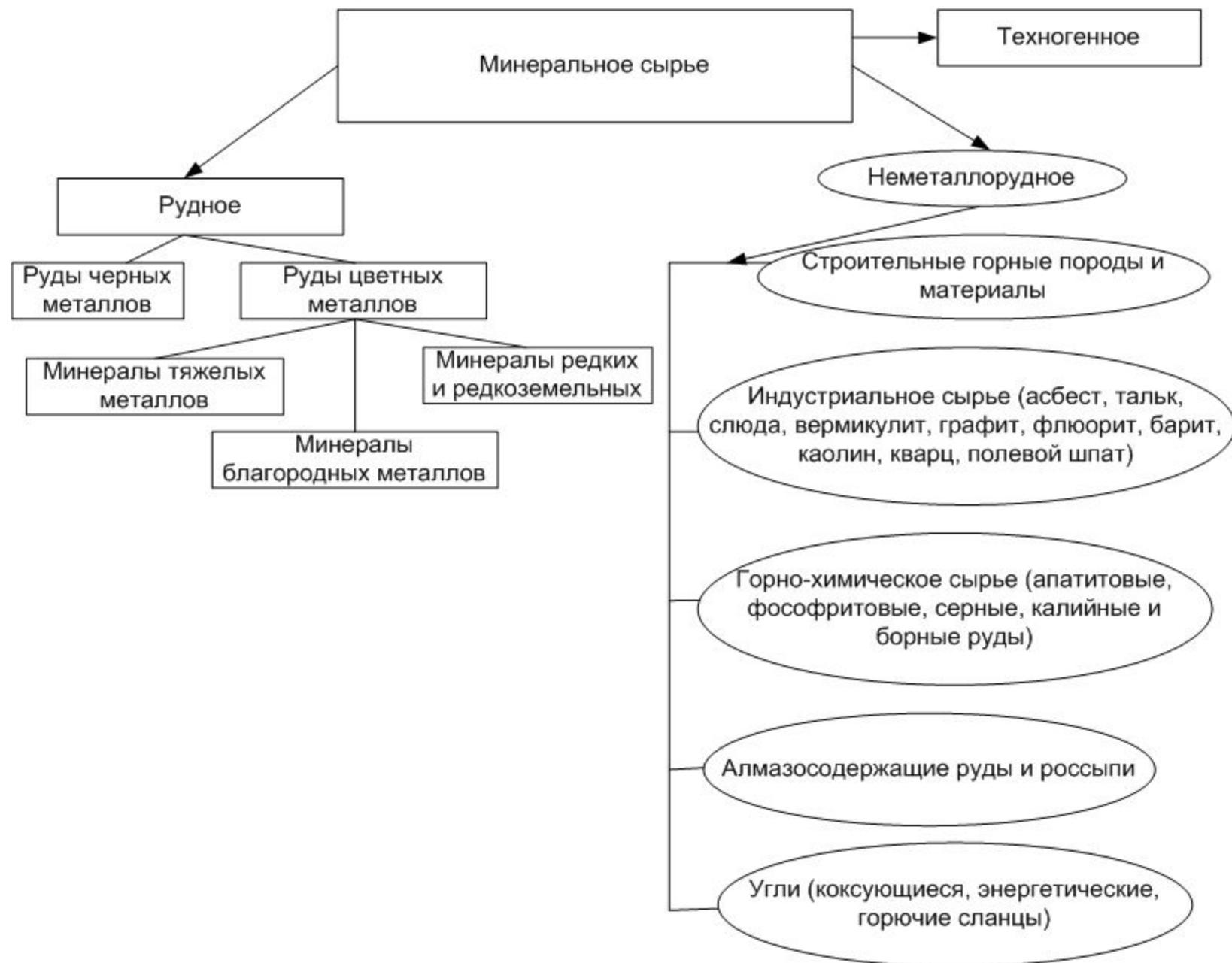
	Интрузивные породы	Эффузивные породы	Минеральный состав	
			темные	светлые
Ультраосновные (гипербазиты, ультрамафиты) <45% SiO <sub>2</sub>	Дунит	Пикрит	Пироксены, оливин	нет
Основные 45-52% SiO <sub>2</sub>	Габбро	Базальт	Пироксены, роговая обманка, оливин	Основные плагиоклазы
Средние 52-65% SiO <sub>2</sub>	Диорит	Андезит	Роговая обманка, биотит, пироксены	Средние плагиоклазы
Кислые >65% SiO <sub>2</sub>	Гранит	Риолит	Биотит, роговая обманка, пироксены	<b>Кварц (25-35%),</b> калиевый полевой шпат (до 40%), кислый плагиоклаз (до 25%)

# Экзогенные процессы минералообразования

- **Процессы выветривания** - процессы изменения и разрушения минералов и горных пород на поверхности Земли под воздействием физических, химических и органических агентов.
- **Процессы осадконакопления** - образование всех видов осадков в природных условиях путем перехода осадочного материала из подвижного или взвешенного состояния (в водной или воздушной среде) в неподвижное (осадок).



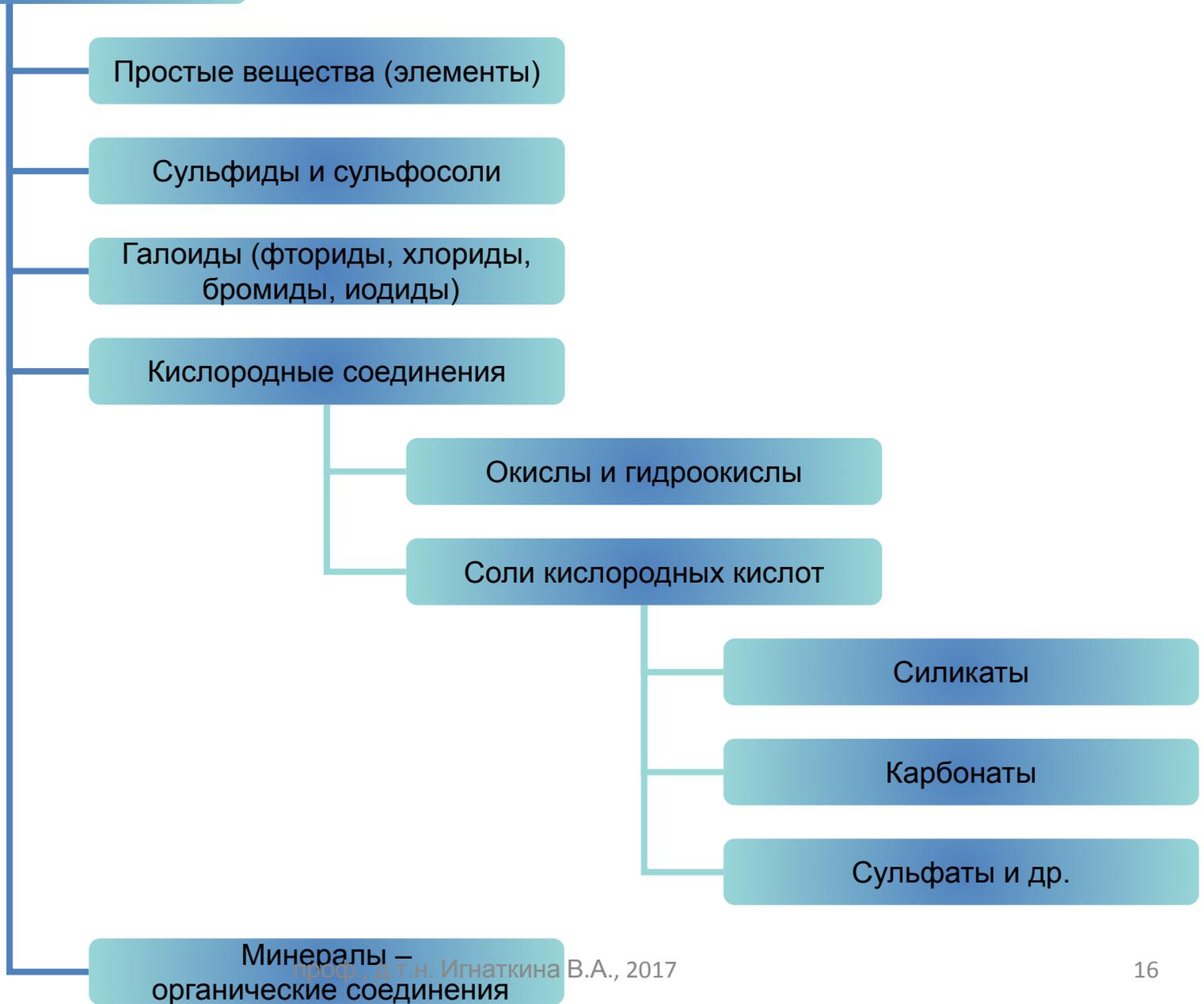
# Признак – применение в промышленности





# Классификация минералов

Признак – химический состав



# Сульфиды и сульфосоли

Для минералов характерно изоморфное замещение одних элементов другими. Часто наблюдаются примеси: кадмия, галлия, индия, таллия, рения и др.

Характерные физические свойства:

- большинство характеризуется металлическим блеском,
- отличается электро- и теплопроводностью,
- повышенной плотностью,
- невысокой твердостью.



Киноварь



Халькопирит



Пирит



Халькозин



Галенит



Марказит

# Свойства минералов



# Механические свойства минералов

Деформация кристаллов бывает упругой, пластической, хрупкой.

Хрупкостью называется способность минералов легко крошиться в результате приложенных сил – при ударе или царапании.

Упругостью обладают минералы, исходные размеры и формы которых восстанавливаются после снятия внешних напряжений.

Пластическая деформация приводит к значительному изменению свойств кристаллов. При этой деформации кристаллическая решетка не нарушается.

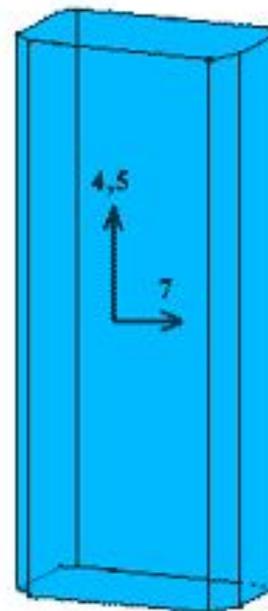
Твердость – способность минерала сопротивляться внешнему механическому воздействию.

Минералам свойственна различная твердость в зависимости от кристаллографических направлений – анизотропия твердости, ярким примером являются кристаллы кианита.



Кианит

проф., д.т.н. Игнаткина В.А., 2017



Возможно измерение относительной или абсолютной твердости минералов.

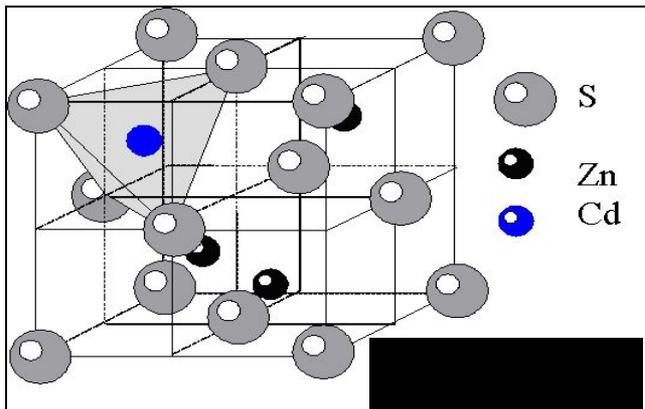
## Шкала относительной твердости Мооса

Твердость	Название	Химическая формула
1	Тальк	$\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$
2	Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
3	Кальцит	$\text{CaCO}_3$
4	Флюорит	$\text{CaF}_2$
5	Апатит	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$
6	Ортоклаз	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
7	Кварц	$\text{SiO}_2$
8	Топаз	$\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$
9	Корунд	$\text{Al}_2\text{O}_3$
10	Алмаз	$\text{C}$

# Формы присутствия примесей в минералах

Включения

**Изоморфные**- элементы входящие в кристаллическую решетку минерала



**Минеральные**- твердые, жидкие, газообразные



# Механические свойства горных пород

- Твердость горных пород определяется составом минералов, загрязненностью каждого минерала, микроскопическими примесями других минералов. При изоморфной структуре минералов отмечается уменьшение твердости, когда параметры кристаллической решетки увеличиваются и наоборот. Например, для сфалерита при замещении цинка железом, кадмием и марганцем расширение кристаллической решетки сопровождается уменьшением микротвердости. Твердость вмещающего минерала повышается, если микровключения другого минерала более твердые и наоборот.

- Твердость минералов по шкале Мооса (1-10)
- Хрупкость минерала
- Спайность
- Ковкость

Шламуемость минералов

- Крепость руды по Продотьякову (0,3-20 (25))

# Электрические свойства

К электрическим свойствам минералов относятся: электрическое сопротивление, электропроводность, поляризуемость, диэлектрическая постоянная.

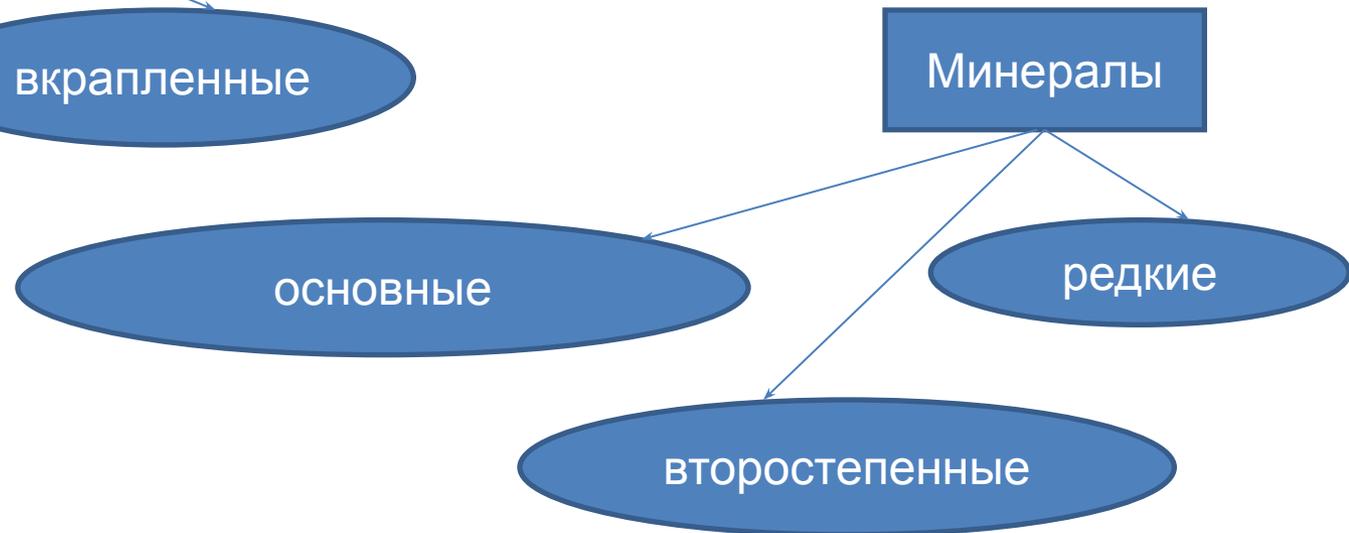
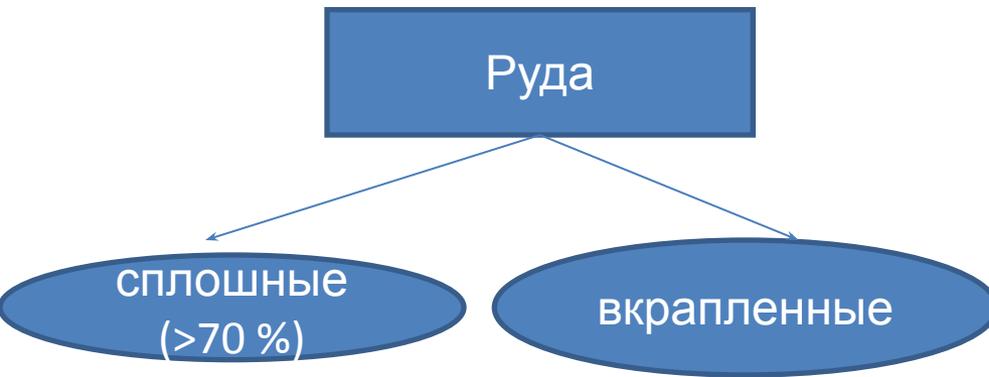
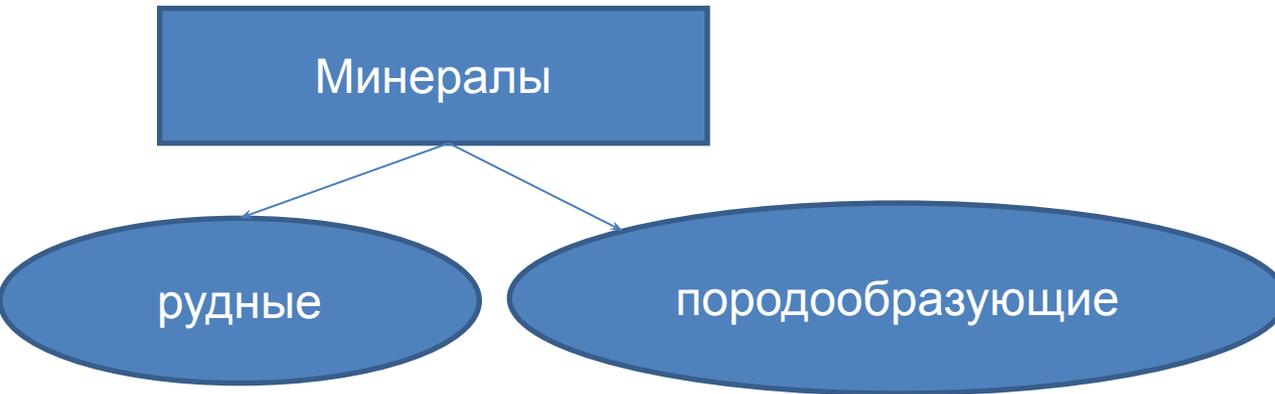
В зависимости от величины электропроводности и типа электронного строения все минералы делятся на 3 типа:

1. проводники ( $10^{-6} - 10^{-4}$  Ом·м) – самородные металлы с металлической связью, халькозин;
2. полупроводники ( $10^{-5} - 10^3$  Ом·м) – пирит, галенит, ковеллин, в них электропроводность сильно зависит от содержания примесей и наличия структурных дефектов;
3. диэлектрики ( $10^3 - 10^{17}$  Ом·м) – силикаты (циркон), сульфаты, карбонаты, кварц, корунд и др.

# Классификация минералов по удельной магнитной восприимчивости, принятая в магнитных сепараторах

Группы минералов по удельной магнитной восприимчивости	Примеры минералов
Сильномагнитные $< 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{г}$	Магнетит
Среднемагнитные	Ильменит, пирротин, оливин
Слабомагнитные	Роговая обманка, сидерит, гематит, лимонит, хромит, родонит, вольфрамит, арсенопирит, молибденит
Немагнитные $> 9 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$	Доломит, полевые шпаты, диопсид, мусковит, антрацит, сфалерит, алмаз, берилл, медь самородная, сера, галит

# Классификация по количественному содержанию



# Вещественный состав

- Химический состав (элементный, фазовый)
- ~~Фазовый состав~~
- Минеральный состав
- Гранулометрический состав
- Текстурно-структурные особенности
- Основные физические свойства ценных и породных компонентов

# Химический состав пробы

Элемент	Массовая доля, %	Фаза	Массовая доля, %
Cu	2,02	MnO	0,05
Zn	4,70	CaO	0,265
Fe	46,30	MgO	0,745
S	35,10	K <sub>2</sub> O	0,03
Ni	≤0,001	Na <sub>2</sub> O	0,245
Co	≤0,004	SiO <sub>2</sub>	7,35
Ba	0,013	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,9
Au*	0,75		
Ag*	20,5		
Pt*	0,19		
Pd*	0,36		
Примечание - содержание благородных металлов, г/т*			

## Фазовый состав соединений меди

Соединения	Массовая доля, %	Распределение, %
Первичные сульфиды (халькопирит)	1,70	89,0
Вторичные сульфиды (халькозин, ковеллин, борнит)	0,16	8,4
Свободная окисл (оксиды, карбонаты, сульфаты, силикаты)	0,05	2,6
Связана в окисл. сложные силикаты	не обнаружены	-
Общая медь	1,91	100,0

## Фазовый состав соединений цинка

Соединения	Массовая доля, %	Распределение, %
Первичные сульфиды	4,02	88,2
Цинк окисленный	0,43	9,4
Цинк сульфатный	0,11	2,4
Общий цинк	4,56	100,0

# Гранулометрическое распределение цветных металлов

Класс крупности, мм	Выход, %	Массовая доля, %		Распределение, %	
		Cu	Zn	Cu	Zn
+ 1	26,9	1,65	4,65	21,5	23,8
-1 +0,63	14,2	2,90	5,90	20,0	16,0
-0,63 + 0,315	16,4	2,40	5,95	19,2	18,7
-0,315 +0,16	12,7	2,15	5,60	13,2	13,5
-0,16 +0,1	10,3	2,15	5,15	10,7	10,1
-0,1 +0,071	7,8	1,80	4,80	6,8	7,1
-0, 071 +0,041	8,9	1,45	4,70	6,3	8,0
-0,041 + 0	2,9	1,65	4,95	2,3	2,7
Итого	100.0	2.06	5.24	100.0	100.0

проф., д.т.н. Игнаткина В.А., 2017

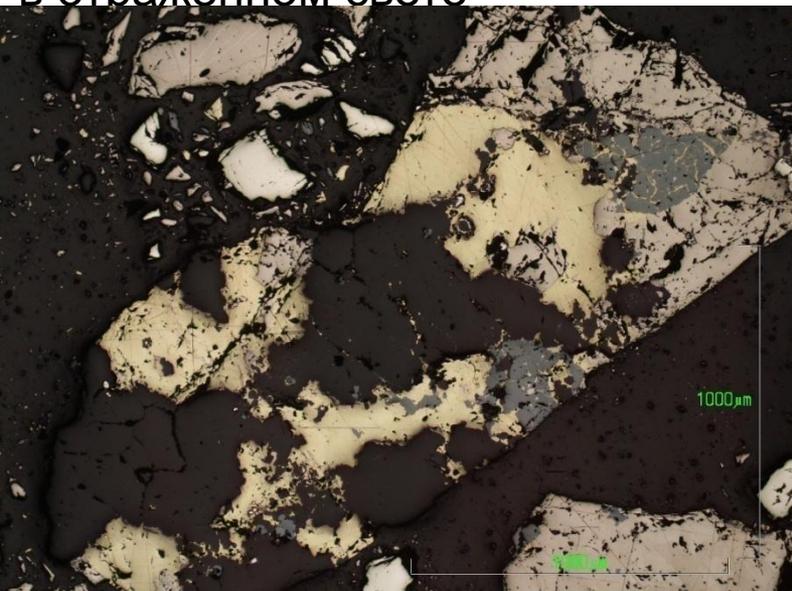
# Минеральный состав, %

<b>Рудные минералы:</b>	<b>78,84</b>
Пирротин	45,41
Пирит	21,45
Сфалерит	6,11
оксиды цинка	0,53
Халькопирит	5,11
халькозин, ковеллин	0,22
Молибденит	0,01
<b>Породообразующие</b>	<b>21,16</b>
<b>Итого</b>	<b>100,00</b>

# Текстурно-структурные особенности

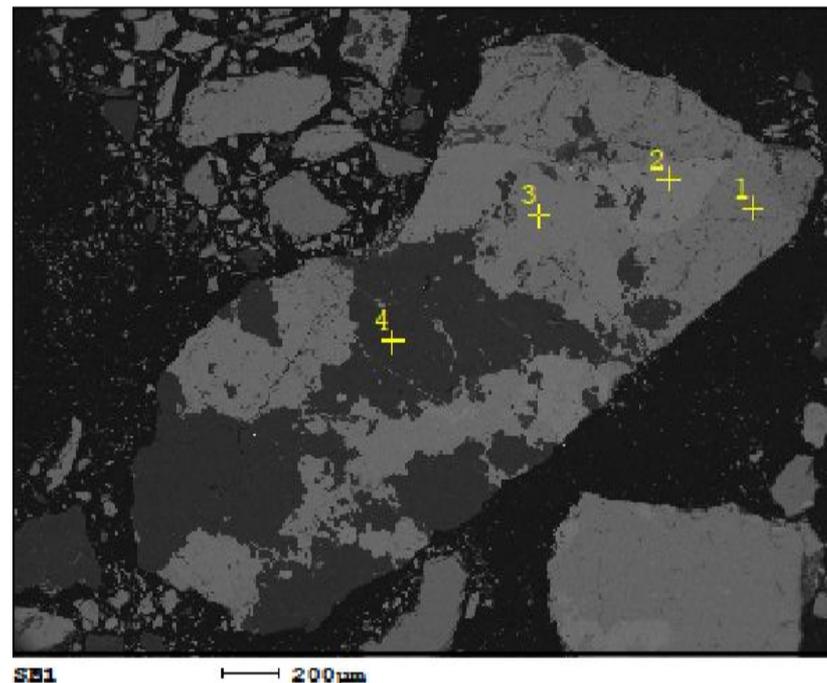
- Текстура руды определяется пространственным взаиморасположением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу, форме, размерам и структуре.
- Формирования текстурного рисунка определяется способом отложения руд
- Структура руды определяется формой, размером и способом сочетания отдельных минеральных зерен или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах.
- Минеральное зерно

В отраженном свете



Полиминеральное срастание халькопирита с сульфидами и породообразующими минералами. Массивная текстура, тонкая неравномерная вкрапленность

1 – пирротин; 2 – сфалерит; 3 – халькопирит; 4 – кварц



Химический состав сульфидов (MLA Quanta 650)

	Массовая доля, %					Примечание
	Fe	Cu	Zn	S	Сумма	
1	30,97	33,45		35,57	99,99	Рисунок 1.8, спектр 3, халькопирит
2	60,96			39,04	100,00	Рисунок 1.8, спектр 1, пирротин
3	5,59		59,46	34,95	100,00	Рисунок 1.8, спектр 2, сфалерит

$Zn_{\text{стех}} - 67,01 \%$        $S_{\text{стех}} - 32,99 \%$

в обратно рассеянных электронах

$Fe_{\text{стех}} - 46,67 \%$        $Cu_{\text{стех}} - 34,78 \%$   
 $Fe_{\text{стех}} - 30,43 \%$   
 $S_{\text{стех}} - 53,33 \%$        $S_{\text{стех}} - 34,78$

# Основные минералы руд цветных металлов

Минералы свинца	Минералы меди	Минералы цинка	Минералы железа
Галенит – PbS (86,6% Pb)	Халькопирит – CuFeS <sub>2</sub> (34,6% Cu)	Сфалерит – ZnS (67,1% Zn)	Пирит – FeS <sub>2</sub>
Церуссит – PbCO <sub>3</sub> (77,5% Pb)	Халькозин – Cu <sub>2</sub> S (79,8% Cu)	Смитсонит – ZnCO <sub>3</sub> (52% Zn)	Пирротин – FeS
	Ковеллин – CuS (66,5% Cu)		
Англезит – PbSO <sub>4</sub> (68,3% Pb)	Борнит – Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> (63,4% Cu)	Каламин – Zn <sub>4</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ]·[OH] <sub>2</sub> (54,2% Zn)	Арсенопирит - FeAsS
Пироморфит – Pb <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Cl (76,5% Pb)	Малахит – CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub> (57,4% Cu)		
Плюмбоярозит – PbFe <sub>6</sub> (OH) <sub>12</sub> ·(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (22,2% Pb)	Азурит – 2CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub> (55,3% Cu)		
	Хризоколла – CuSiO <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O (55,3% Cu)		

# ЖРС

- Магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ )



Твёрдость Твёрдость 5,5—6.  
Плотность 4,9—5,2 г/см<sup>3</sup>;  
ферромагнитные свойства

- Гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$



Твёрдость Твёрдость 5,5 — 6,5.  
Хрупкий Твёрдость 5,5 — 6,5. Хрупкий.  
Плотность 4,9 — 5,3 г/см<sup>3</sup>;  
слабомагнитный

# Бурый железняк (лимонит)



минерал	Химическая формула	Содержание железа и компонентов, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по шкале Мооса	Удельная магнитная восприимчивость $\cdot 10^{-6}$ , г/см <sup>3</sup>
1	3	4	5	6	7
<b>Гематит</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>70</b>	<b>5,0-5,2</b>	<b>5,5-6,0</b>	<b>250-50</b>
Гетит	FeOOH	62,9	4,0	4,5-5,5	200-25
Гидрогематит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · n H <sub>2</sub> O, n < 1	64-69	4,5-5,3	4,5-6,5	200-50
Лепидокрокит	FeOOH	62,9	4,1	4,0	-
<b>Лимонит</b>	<b>FeO<sub>3</sub> · nH<sub>2</sub>O, n &lt; 1</b>	<b>60</b>	<b>3,3-4,0</b>	<b>1-4,0</b>	<b>200-25</b>
Маггемит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70	4,9-5,3	5-6,5	25000-1000
<b>Магнетит</b>	<b>FeO · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>72,4</b>	<b>4,9-5,2</b>	<b>5,5-6,0</b>	<b>50000-25000</b>

# Технология переработки минерального сырья

- Совокупность технологических процессов (схемы, режимы) и средств производства (оборудование), которая позволяет достигать требуемые технологические показатели

# ***ПРОДУКТЫ ОБОГАЩЕНИЯ***



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ

- **Содержание (массовая доля) металла (целевого компонента) в руде или продукте обогащения**

Количество целевого компонента в руде (или продукте) - %  
, г/т, г/м<sup>3</sup> или кар/т, ppm - parts per million (мг/кг или мг/л)

$\alpha$  - в исходной руде

$\beta$  - в концентрате

$\theta$  - в хвостах

Карат

Единица измерения массы драгоценных камней = 0,2  
грамма.

Единица чистоты золота. Высший показатель - 24 карата - о  
значает чистоту 99,9%.

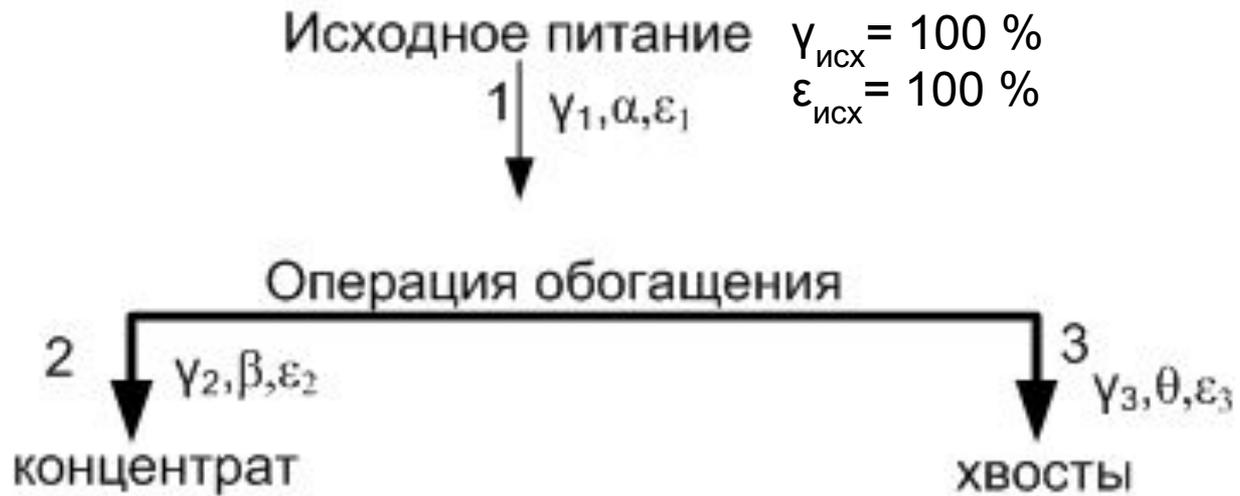
# Технологические показатели обогащения

$$\gamma = \frac{M_{\text{продукта}}}{\sum M_{\text{продуктов}}}$$

$$\gamma = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{ценного компонента}}}{\sum M_{\text{ценного компонента}}} = \frac{\gamma \cdot \beta}{\alpha}$$

# Материальные балансы



$$\left[ \begin{array}{l} \gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 \\ \gamma_1 \cdot \alpha = \gamma_2 \cdot \beta + \gamma_3 \cdot \theta \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \epsilon_1 = \epsilon_2 + \epsilon_3 \end{array}$$

$$\gamma_2 = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \cdot 100, \%$$

$$\epsilon \alpha = \gamma \beta$$

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ**

- Степень обогащения или степень концентрации

$$K = \frac{\beta}{\alpha}$$

- Извлечение металла

$$\varepsilon = \frac{\gamma \beta}{\alpha}$$

- Степень сокращения

$$R = \frac{100}{\gamma}$$

- Потери металла – извлечение в хвосты

# ***МЕТОДЫ И СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ***

## **Подготовительные процессы**

## **Основные процессы**

- Сортировка
- Гравитация
- Магнитное и электрическое обогащение
- Флотация
- Радиометрическое обогащение

## **Вспомогательные процессы**

- Дренажное
- Сгущение
- Фильтрация
- Сушка

# Комбинированные методы

- Гравитация + флотация;
- Магнитная сепарация + флотация;
- Флотация + металлургические методы или наоборот;
- Сортировка + гравитация + флотация.

# Технология

## Качественно- количественная схема

- Дает представление о принятой технологической схеме переработки руды, последовательности процессов и операций, которым подвергаются руды при рудоподготовке и обогащении

## Схема цепи аппаратов

- Показывает позиции движения руды и продуктов обогащения через аппараты

# Качественно-количественная схема рудоподготовки

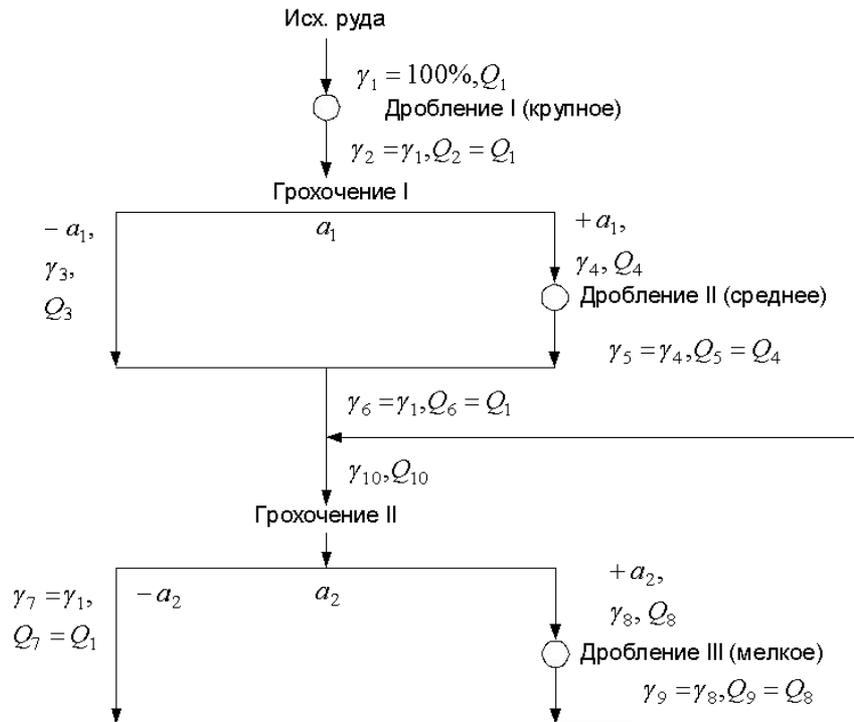
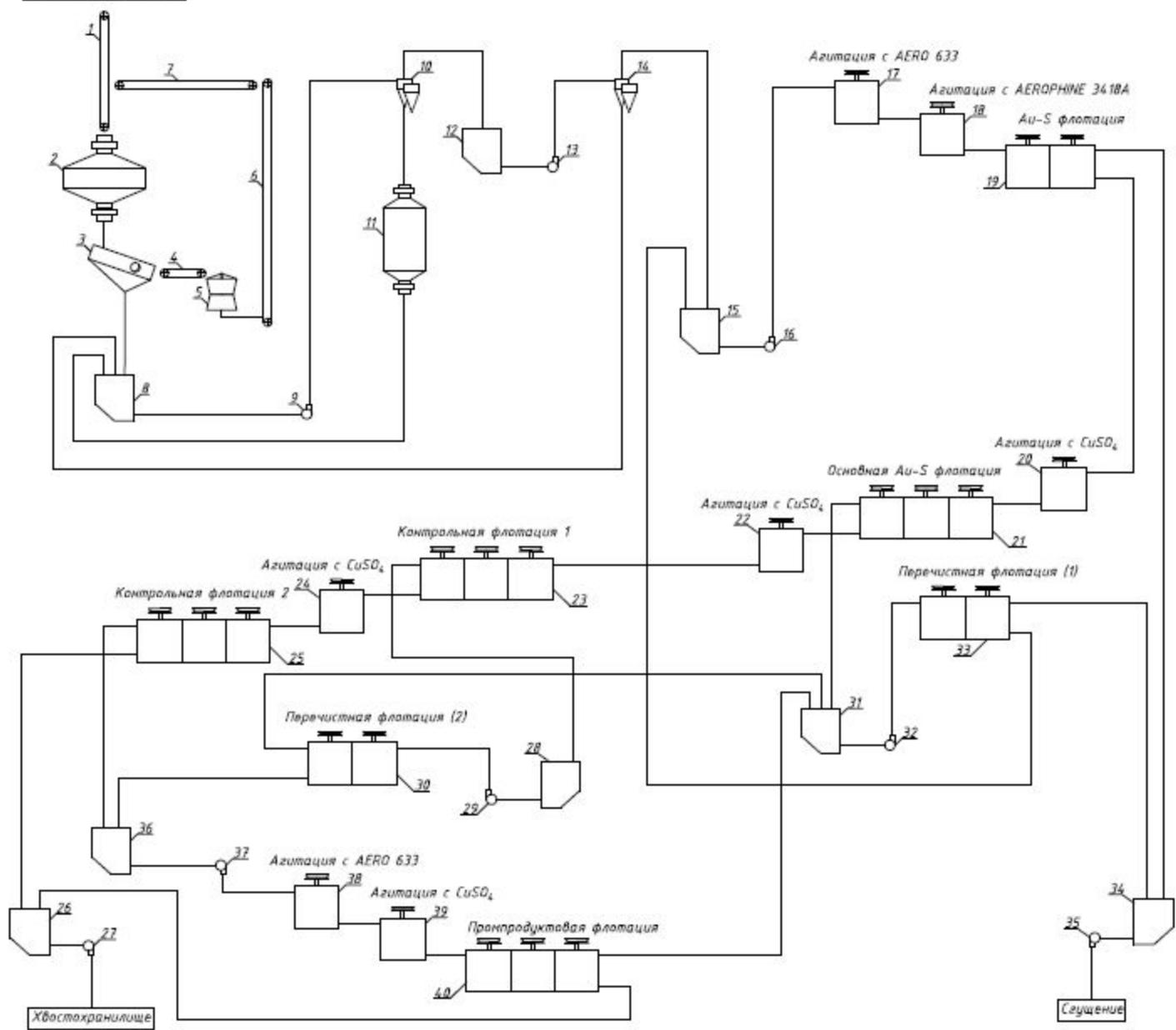


Рисунок 2.4 - Схема дробления руды



Бункер дробленой руды



Поз.	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Мас. об.
1	Камбейер В=800 мм	1		
2	Мельница ММС 7000x2300	1		
3	Грохот ГМС-42	1		
4	Камбейер В=800 мм	1		
5	Дробилка КМД	1		
6	Камбейер В=800 мм	1		
7	Камбейер В=800 мм	1		
8	Зумф	1		
9	Насос	1		
10	Гидроциклон ГРЦ-500	4		
11	Мельница МШЦ 2700x3600	2		
12	Зумф	1		
13	Насос	1		
14	Гидроциклон ГРЦ-250	4		
15	Зумф	1		
16	Насос	4		
17	Камбейерный чан V=50 м <sup>3</sup>	1		
18	Камбейерный чан V=50 м <sup>3</sup>	1		
19	Флотационная ФПМ-50УМ	2		
20	Камбейерный чан V=50 м <sup>3</sup>	1		
21	Флотационная ФПМ-50УМ	3		
22	Камбейерный чан V=50 м <sup>3</sup>	1		
23	Флотационная ФПМ-50УМ	3		
24	Камбейерный чан V=50 м <sup>3</sup>	1		
25	Флотационная ФПМ-50УМ	3		
26	Зумф	1		
27	Насос	1		
28	Зумф	1		
29	Насос	1		
30	Флотационная ФПМ-25УМ	2		
31	Зумф	1		
32	Насос	1		
33	Флотационная ФПМ-25УМ	2		
34	Зумф	1		
35	Насос	1		
36	Зумф	1		
37	Насос	1		
38	Камбейерный чан V=25 м <sup>3</sup>	1		
39	Камбейерный чан V=25 м <sup>3</sup>	1		
40	Флотационная ФПМ-25УМ	3		

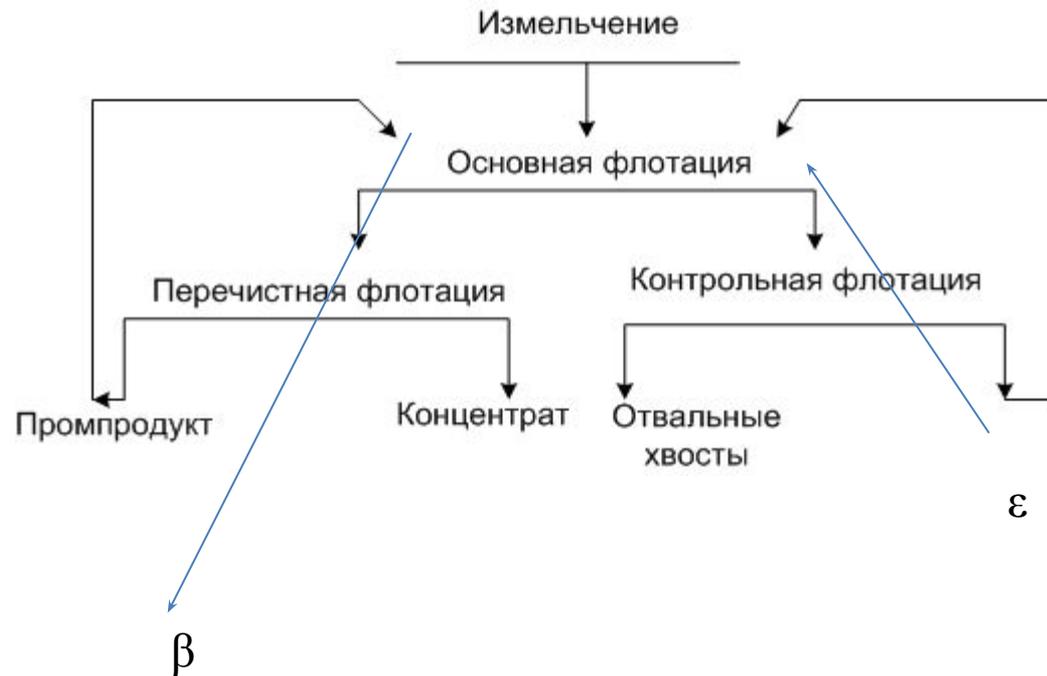
МИСУС

654.ВКР.2016.05

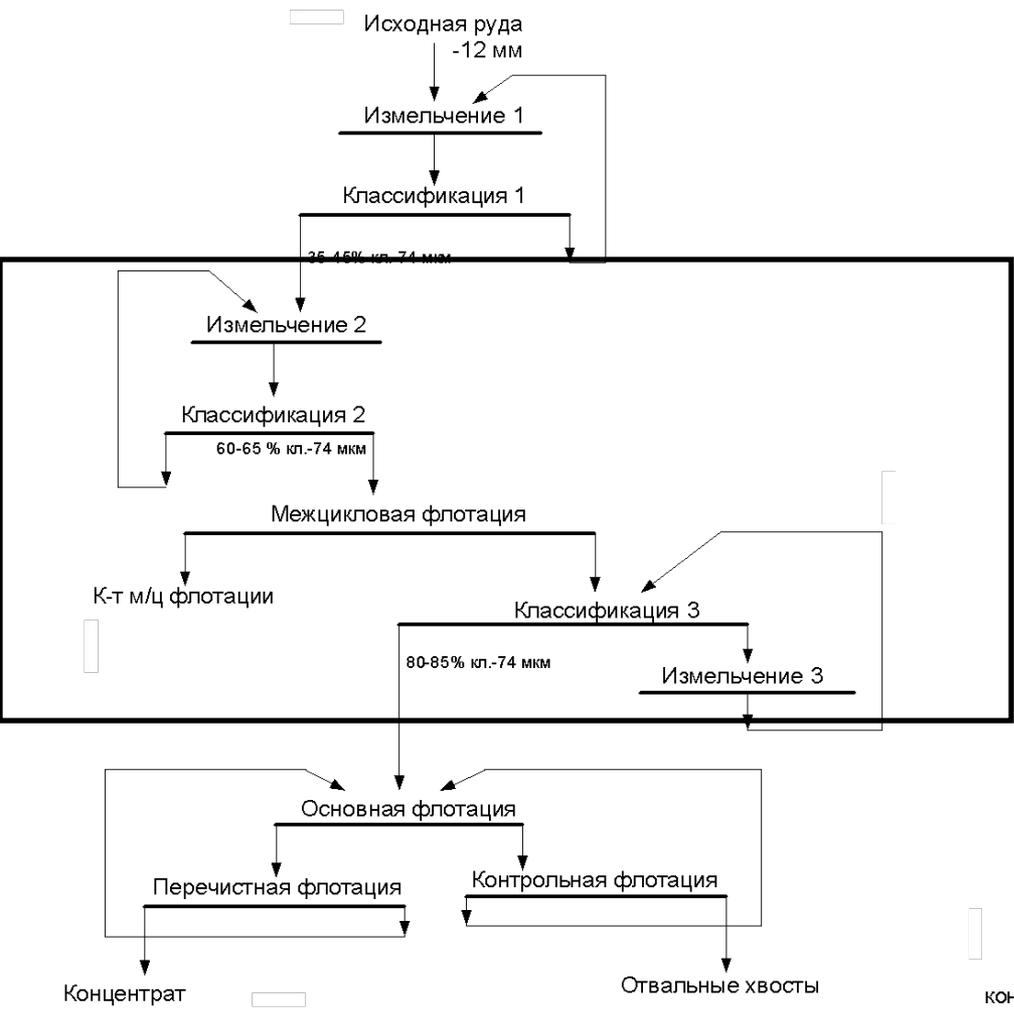
Исполн.	Провер.	Дата	Схема цепи аппаратов настраивания Майское
Исполн. #1	Провер. #1	Дата #1	
Исполн. #2	Провер. #2	Дата #2	ОПР-12-1
Исполн. #3	Провер. #3	Дата #3	

# Операции схемы обогащения (флотации)

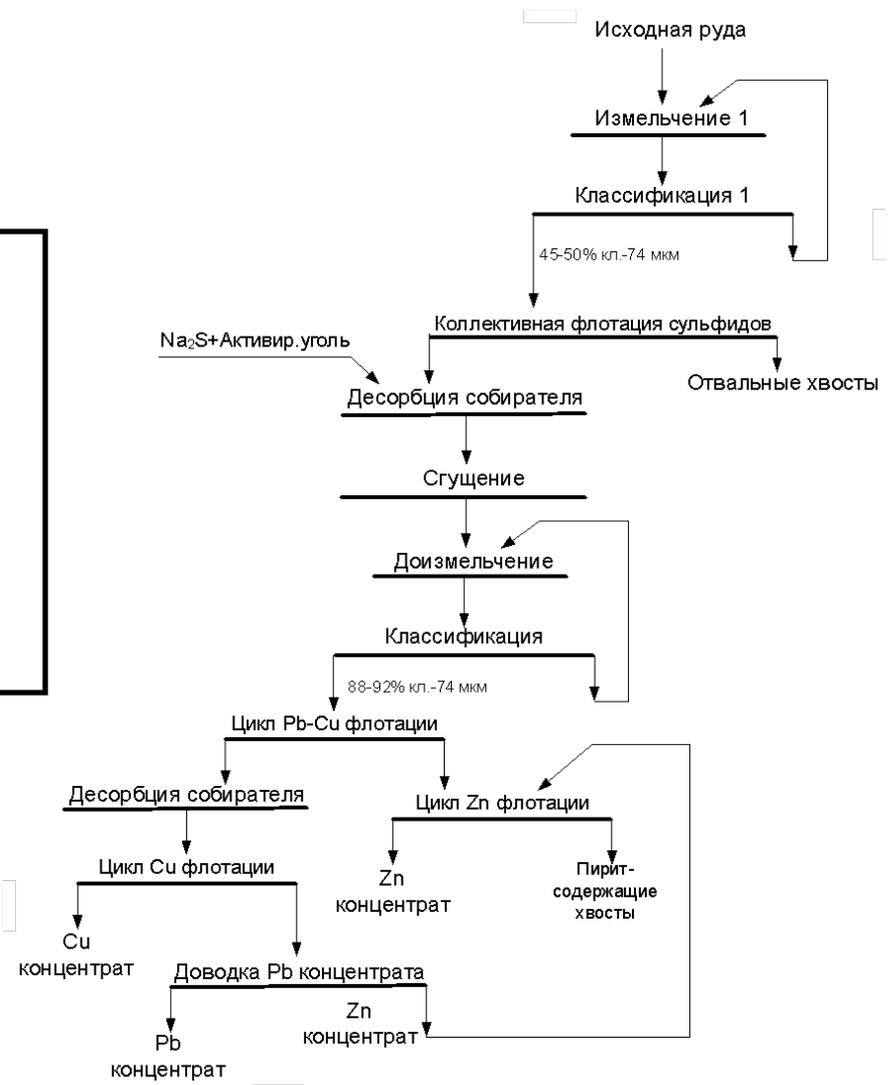
- Основная
- Контрольная
- Перечистная



# Межстадиальное обогащение (флотация)

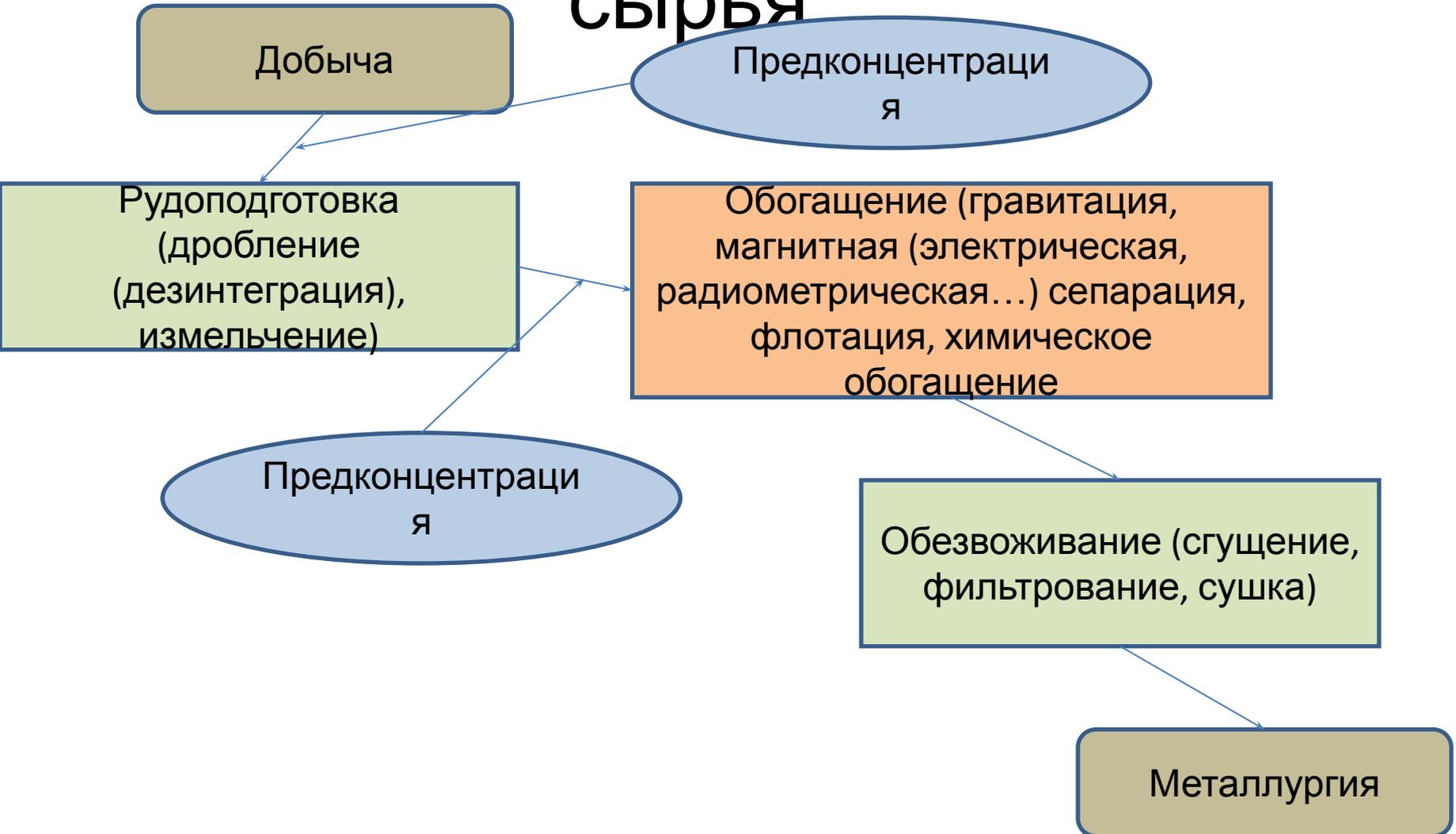


# Цикл обогащения



# Переработка минерального

## сырья



# Выбор процесса обогащения

Физические свойства минералов  
(крепость, удельная магнитная  
восприимчивость,  
электропроводность,  
радиоактивность, оптические  
свойства, смачиваемость....)

Крупность минералов

# Размер минерального вещества и процессы обогащения

(Самыгин В.Д. и др. Основы обогащения руд. -М.: Альтекс. – 2003. – С.13)

Классификация	Размер, мм	Процесс обогащения
Весьма крупные	100-20	Радиометрическая сепарация
Крупные	20-2	Гравитация (отсадка, тяжелосредная сепарация), магнитная сепарация
Мелкие	2-0,2	Гравитация (конц.стол, ц/б сеп., тяжелые среды), ММС, электрическая и спец. сепарация, флотация (пенная сепарация)
Тонкие	0,2-0,02	Флотация, гидрометаллургия
Весьма тонкие (эмульсионные)	0,02-0,002	Флотация шламов, ионная флотация, гидрометаллургия
Субмикроскопические и коллоидные	<0,002	Гидрометаллургия

## Показатели эффективности

□ Коэффициент селективности (В.И. Трушлевич)  $S = \frac{\beta_{\kappa} - \beta_{xв}}{\alpha}, \%$

□ Эффективность разделения (Э.Хеннон)  $S = \frac{(\beta_{\kappa} - \beta_{xв})}{100 - \alpha}, \%$

□ Эффективность обогащения  $S = \frac{\varepsilon_{\kappa} - \gamma_{\kappa}}{1} \cdot 100, \%$

□ Коэффициент разделения по А.М. Годэну  $S = \frac{\beta_{\kappa} (1 - \beta_{xв})}{\gamma_{xв} (1 - \beta_{\kappa})}, \text{доли.ед.}$

□ Коэффициент обогащения (Ханкок-Луйкен)

$$S = \frac{\gamma_{\kappa} (\beta_{\kappa} - \alpha)}{\alpha (1 - \alpha)}, \text{доли.ед}$$

$$S = \frac{\gamma_{\kappa} (\beta_{\kappa} - \alpha)}{\alpha (1 - \frac{\alpha}{\beta_{\text{минерал}}})}, \text{доли.ед}$$

□ Степень концентрации

$$\eta = \frac{\beta_{\kappa}}{\alpha}, \text{доли.ед}$$

$$\eta = \frac{\beta_{\kappa}}{\beta_{xв}}$$

Селективность выделения

$$\eta = \beta_1 / \beta,$$

где  $\beta_1$  и  $\beta$  - содержание металла в концентрате и минерале.

# Основные медные минералы

Минерал	Формула	Содержание Cu, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость
Первичные сульфиды				
Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$	34,6	4,1-4,2	3-4
Вторичные сульфиды				
Халькозин	$\text{Cu}_2\text{S}$	79,9	5,5-5,8	2,5-3
Ковеллин	$\text{CuS}$	64,5	4,6-4,7	1,5-2
Борнит	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63,3	4,5-5,3	3
Блеклые руды				
Тетраэдрит	$\text{Cu}_{12}\text{SbS}_{12}$	45-51	4,4-5,1	3-4
Теннантит	$\text{Cu}_{12}\text{AsS}_{12}$	45-51	4,4-5,1	3,5
Оксиды				
Куприт	$\text{Cu}_2\text{O}$	88,8	5,8-6,2	3,5-4
Тенорит	$\text{CuO}$	79,9	5,8-6,4	3,5-4
Карбонаты				
Малахит	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	57,4	3,9-4,1	3,5-4
Азурит	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	55,3	3,7-3,9	3,5-4
Силикаты				
Хризоколла	$\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	До 45	2,0-2,3	2-4
Сульфаты				
Халькантит	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25,4	2,2-2,2	2,5
Брошантит	$\text{Cu}_4\text{SO}_4 \cdot (\text{OH})_6$	34,8	3,8-3,9	3,5-4

**Требования к медным концентратам**  
**ГОСТ Р 52998-2008 - Концентрат медный. Технические условия.**  
**Дата введения 2010-01-01**

Марка	Массовая доля, %		
	меди, не менее	примесей, не более	
		цинка	свинца
КМ0	40,0	2,0	2,0
КМ1	35,0	2,0	2,5
КМ2	30,0	3,0	4,0
КМ3	25,0	5,0	4,5
КМ4	23,0	6,0	4,5
КМ5	20,0	7,0	4,5
КМ6	18,0 (12,0)	8,0	4,5

$As \leq 0,6$  (1,2 %);  $Mo \leq 0,12$  (0,18 %); влажность  $\leq 7$  %