

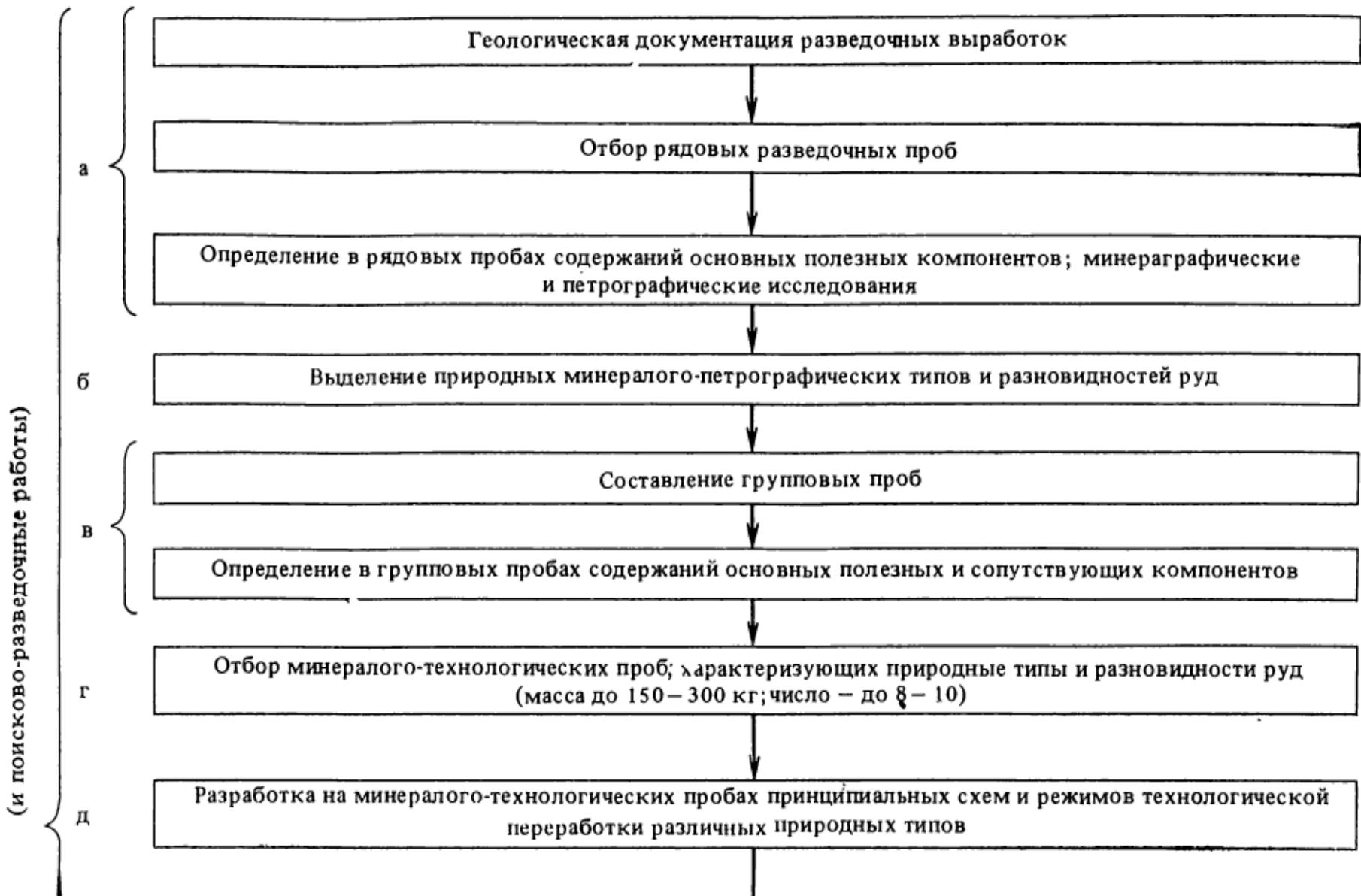
**ОЦЕНКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ
ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ
С ГАРМОНИЗАЦИЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Шехирев Д.В.
НИТУ «МИСиС»

**Народная артистка СССР Мария Миронова в роли
поэтессы: «Есть какая-то невысказанность...»**



Принципиальная схема и последовательность работ по технологической оценке запасов руд при разведке (с включением работ малообъемному технологическому опробованию и картированию)



Предварительная разведка

е Разработка стандартных схем технологической оценки малых проб для различных типов руд на навесках до 40 – 50 кг, отквартованных от материала минералого-технологических проб

ж Технологическая оценка малых проб по стандартным схемам; изучение вещественного состава и важнейших физико-механических свойств на материале малых проб (масса проб до 40 – 50 кг, число до 200 – 300 и более)

з Математическая обработка результатов исследований малых проб, выделение технологических типов или сортов руд (по технологическим свойствам, вещественному составу и физико-механическим свойствам)

и Оконтуривание типов и сортов руд на технологических планах и разрезах

к Отбор типовых технологических проб, характеризующих технологические типы (сорта) руд (масса до 1,5 т)

к Технологические исследования типовых проб в замкнутом цикле с разработкой схем и режимов переработки технологических типов (сортов) руд и изучением вещественного состава и физико-механических свойств руд

л Отбор и испытания полупромышленных проб

Детальная разведка

Работы по малообъемному технологическому опробованию и картированию (основной объем)

Технологические исследования руд на опытных обогатительных фабриках и установках на разведываемых месторождениях

Данные кинетического опыта | Спектр | Схема

Металлы | Кинетика

Количество порций пенного продукта 7

- Способ ввода кинетики
- вводятся массы порций пенного продукта и содержания в них металлов, то же - для камерного продукта
 - вводятся кинетики вывода и извлечения в пенный продукт в накоплении, содержания в исходном

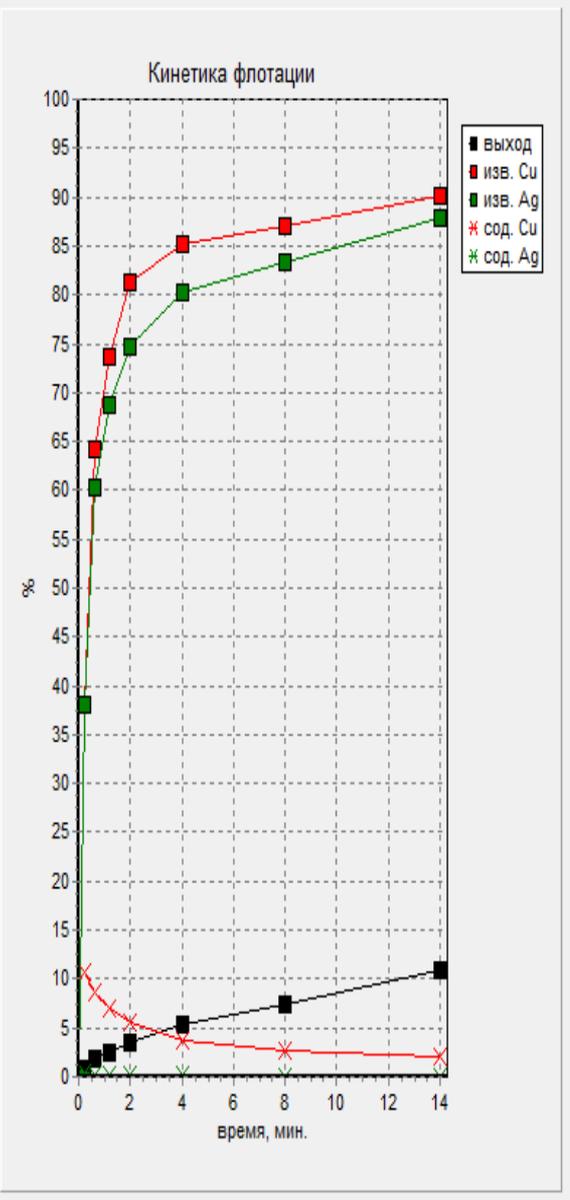
№	Кинетика ПП	Выход, %	Содержание		Извлечение	
			Сu, %	Ag, %	Сu, %	Ag, %
0,1	Время, мин.					
1	0.2	0.85	10.6	0.313	38.08	37.97
2	0.6	1.77	8.59	0.239	64.14	60.38
3	1.2	2.47	7.06	0.195	73.61	68.72
4	2	3.43	5.62	0.153	81.28	74.76
5	4	5.39	3.75	0.104	85.18	80.33
6	8	7.47	2.76	0.0782	87.11	83.43
7	14	10.82	1.98	0.0569	90.22	87.95
Исх.	8,24	9,24	0,237	0,007	15,24	16,24

Очистить

Принять данные

Расчитать кинетику

Построить графики



Шкала флотиремости

- Грубая (3 фракции)
- Обычная (8 фракций)
- Тонкая (12 фракций)

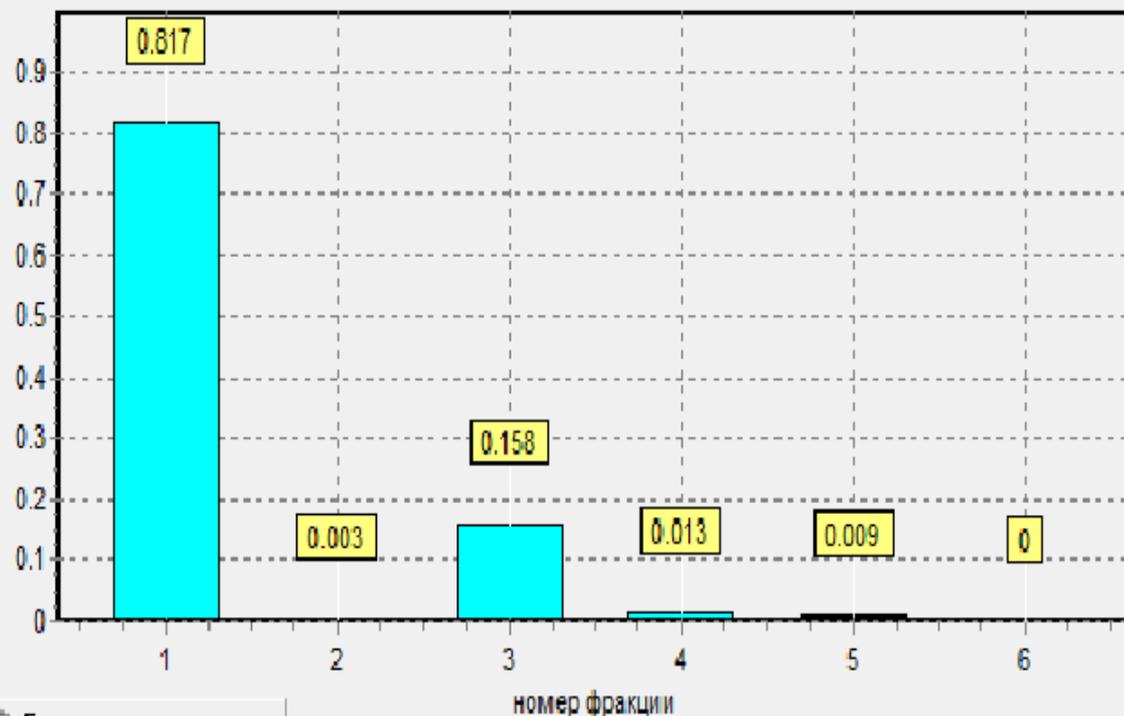
Границы интервалов флотиремости, (1/мин.)

0.0001; 0.001; 0.01; 0.1; 1; 10; 100

Способ расчета

- Автоматический
- Пошаговый

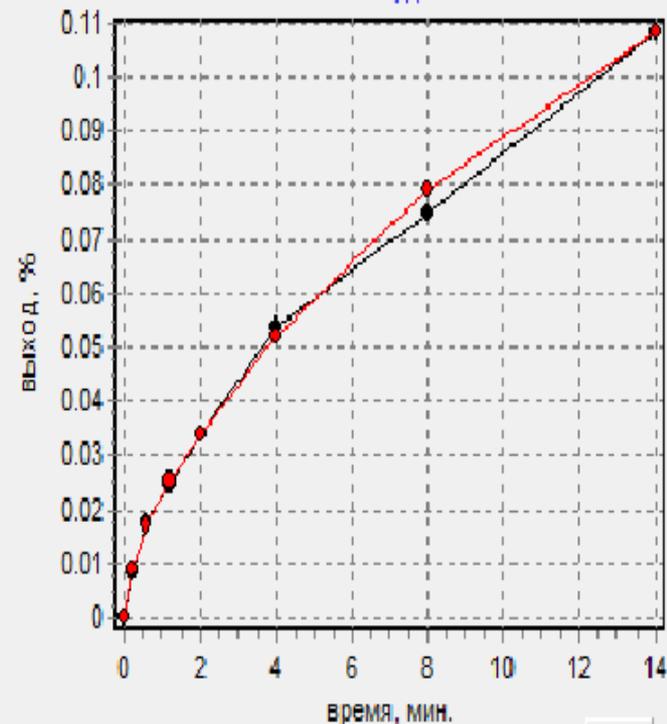
Доли фракций - твердое



- Гистограмма
- Спектр

Доли фракций флотиремости

Кинетика - твердое

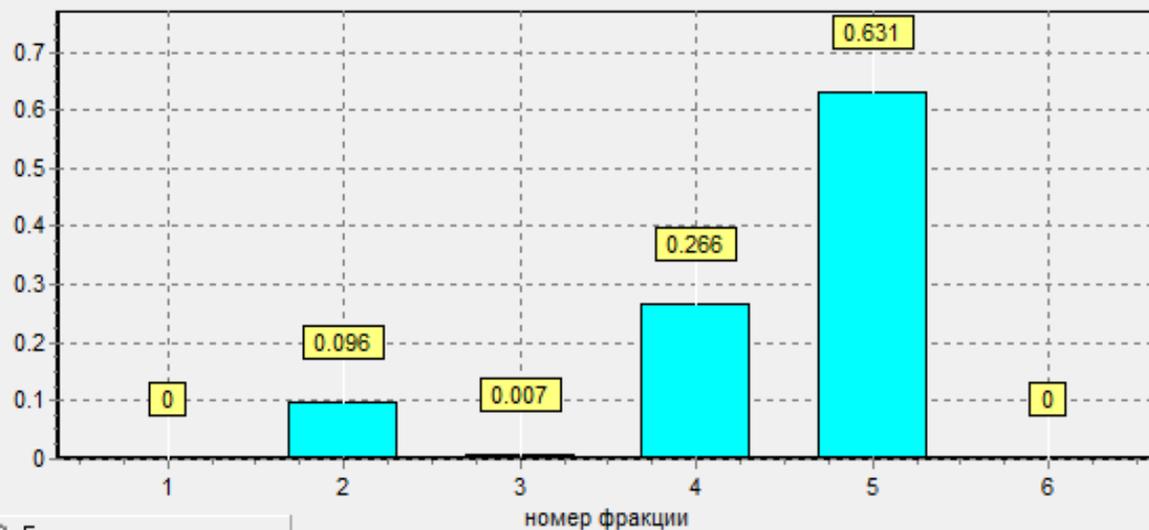


Погрешность
4.62%

- Эксперимент
- Расчет



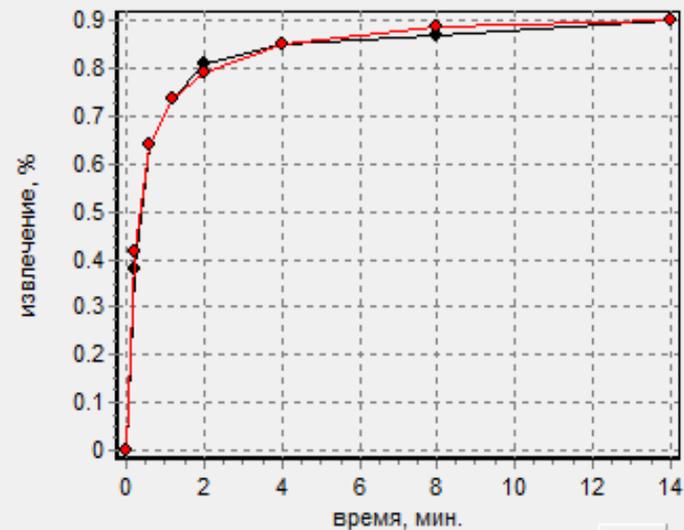
Доли фракций - Cu



Гистограмма
 Спектр Содержания

Доли фракций флотуемости

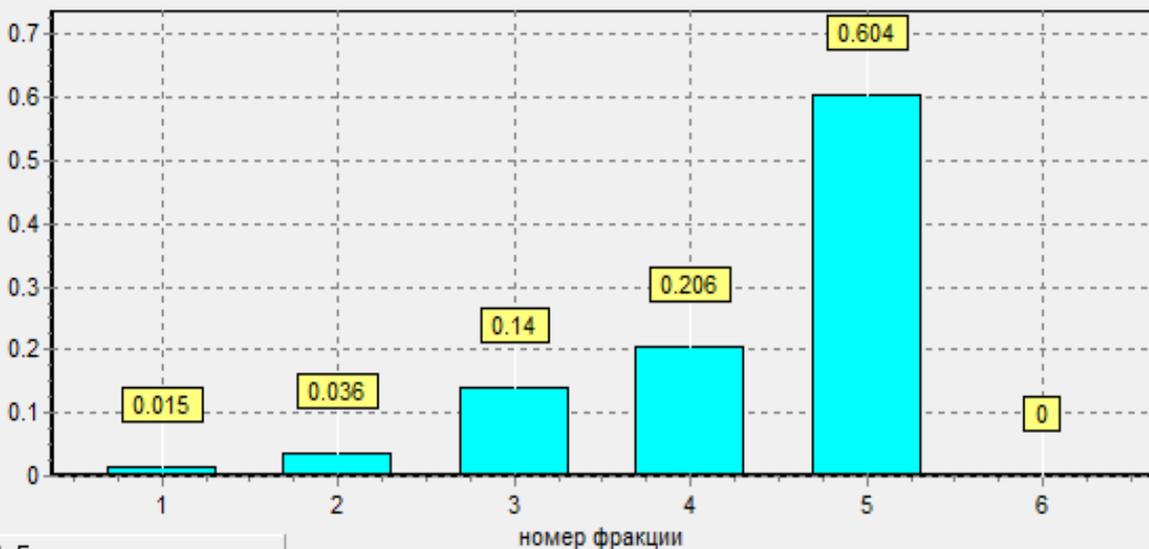
Кинетика - Cu



Погрешность
45.02 %

Эксперимент Расчет

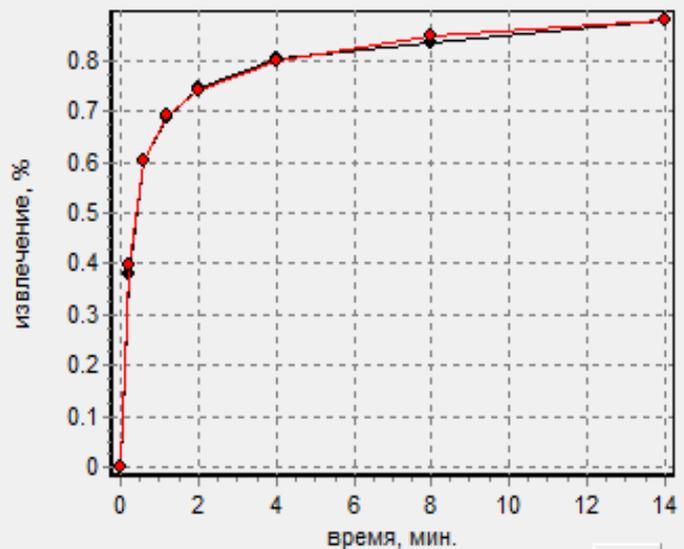
Доли фракций - Ag



Гистограмма
 Спектр Содержания

Доли фракций флотуемости

Кинетика - Ag



Погрешность
25.27 %

Эксперимент Расчет

Данные кинетического опыта | Спектр | Схема

Название цикла

СК 1

Варианты исходных данных для расчета операции

Время флотации Время флотации и количество камер Объем камер и их количество

Операции

Основная
Контрольная

Конечные продукты

Концентрат
Хвосты

Сохранить цикл в файле

Вести цикл из файла

Исходные данные по операциям

Расчет цикла

Добавить операцию

Удалить операцию

Добавить конечный продукт

Удалить конечный продукт

OK

Передать во все операции: наименования металлов, название цикла и варианты исходных данных для расчета операции

Очистить все

Количество операций 2

Количество конечных продуктов 2

Название операции

Основная

Название цикла

СК 1

1 T 2

Cu
Ag

Коэффициент времени флотации

1

Вести операцию из файла

Поступает исходное питание цикла

Куда идет пенный продукт

Концентрат

Куда идет камерный продукт

Контрольная

Время флотации лабораторное, мин.

4

Сохранить операцию в файле

частные показатели

	Q, т/ч	G, %	B, % Cu	B, % Ag	E, % Cu	E, % Ag	V, м3/ч	S, %	W, м3/ч	Ro, т/м3
пенный продукт		7.06	3.0167	0.0843	89.92	85.09				
камерный продукт		102.16	0.0388	0.0018	16.70	26.99				
питание		109.22	0.2314	0.0072	106.62	112.08				

Название операции

Контрольная

Название цикла

СК 1

2 T 2

Cu
Ag

Коэффициент времени флотации

1

Вести операцию из файла

Поступает исходное питание цикла

Куда идет пенный продукт

Основная

Куда идет камерный продукт

Хвосты

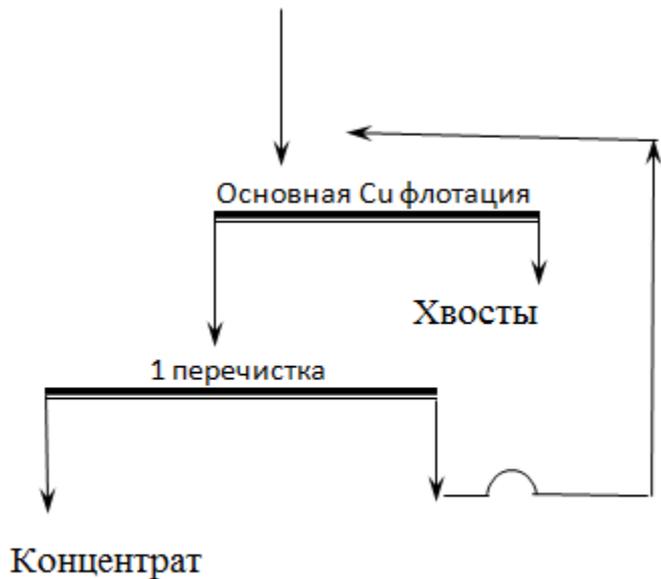
Время флотации лабораторное, мин.

11

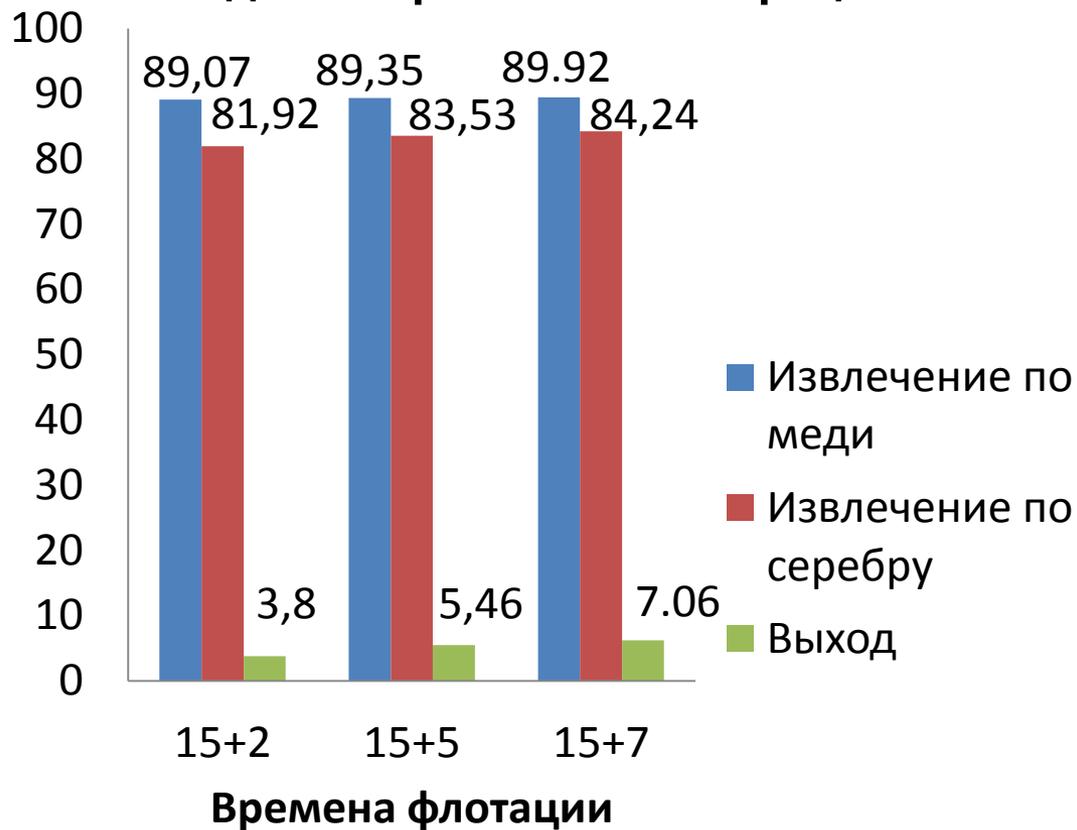
Сохранить операцию в файле

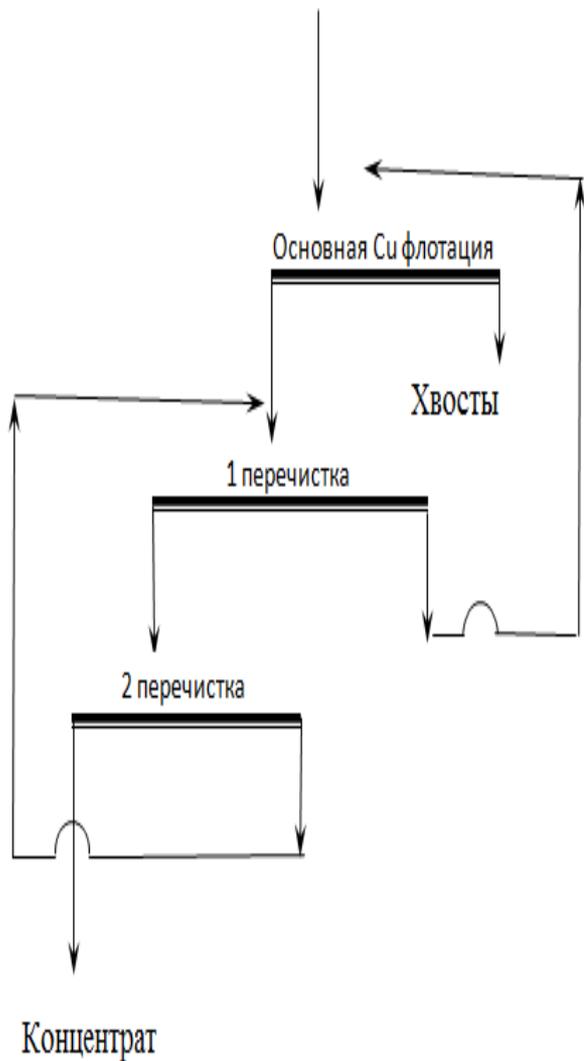
частные показатели

	Q, т/ч	G, %	B, % Cu	B, % Ag	E, % Cu	E, % Ag	V, м3/ч	S, %	W, м3/ч	Ro, т/м3
пенный продукт		9.22	0.1701	0.0092	6.62	12.08				
камерный продукт		92.93	0.0257	0.0011	10.08	14.91				
питание		102.16	0.0388	0.0018	16.70	26.99				



Зависимость извлечения и выхода от времени в операциях цикла с одной перечистной операцией





Зависимость извлечения от времени в операциях цикла с двумя перечистными операциями

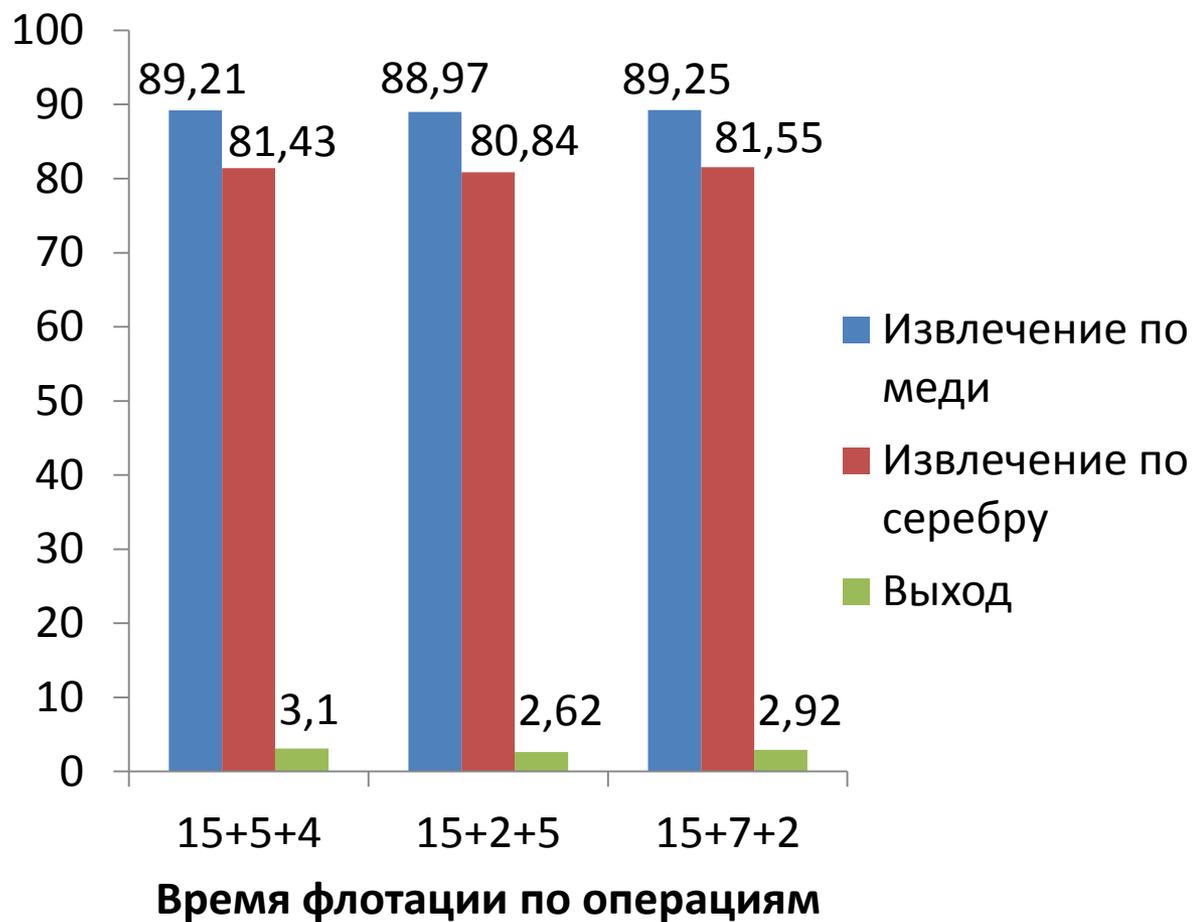


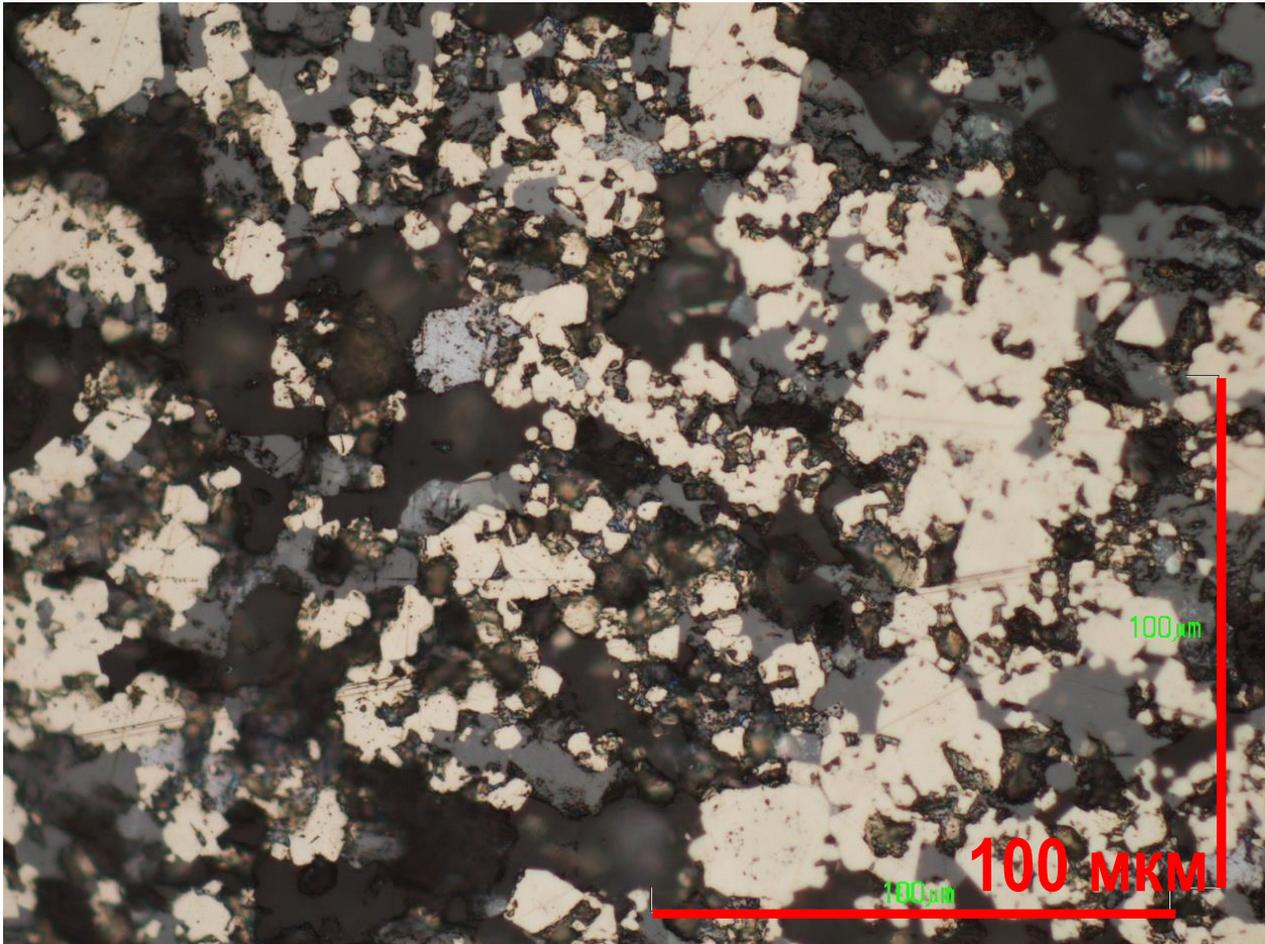
Таблица – 1 Показатели замкнутой схемы опытным путем

Продукт	Выход	Содержание <u>Cu</u>	Извлечение <u>Cu</u>
Концентрат	6.69%	3.16%	89.89%
Хвосты	93.31%	0.026%	10.11%
Руда	100.00%	0.24%	100.00%

Таблица – 2 Показатели схемы, рассчитанные программой

Продукт	Выход	Содержание <u>Cu</u>	Извлечение <u>Cu</u>
Концентрат	7.06%	3.01%	89.92%
Хвосты	92.94%	0.0257%	10.08%
Руда	100.00%	0.24%	100.00%

Руда Pb-Zn месторождения



Сложные взаимные срастания галенита (светло-серое), пирита (бледно-желтое), сфалерита (серое) в кальцитовой массе (темное)

Комплекс MLA System



- Сканирующий электронный микроскоп Quanta 600
- Два энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных детектора EDAX
- Программное обеспечение MLA Suite

- минералогический и химический состав образцов;
- распределение по размерам частиц и зерен;
- информацию о раскрытых минералах и минеральных ассоциациях;
- плотности частиц и факторы формы;
- теоретические кривые обогатимости .

MLA SYSTEM

Работа электронного микроскопа осуществляется под руководством специального программного обеспечения MLA Suite, включающая:

- автоматизированный анализ до 14 образцов;
- использование различных методов анализа;
- обработку полученных данных;
- вывод результатов в табличной и графической формах.



System Manager



Measurements



Mineral Reference



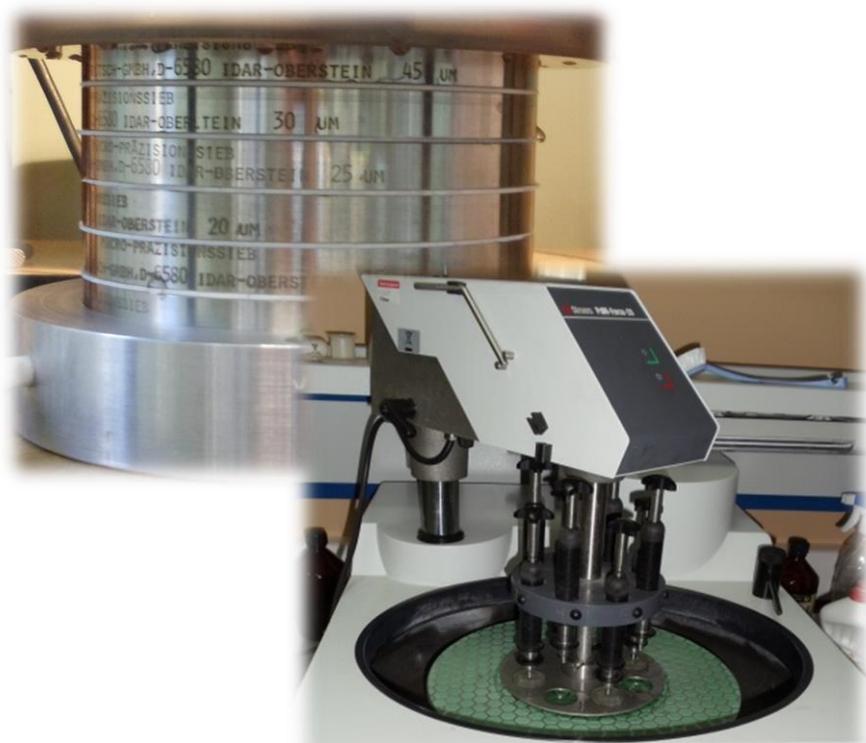
Image Processing



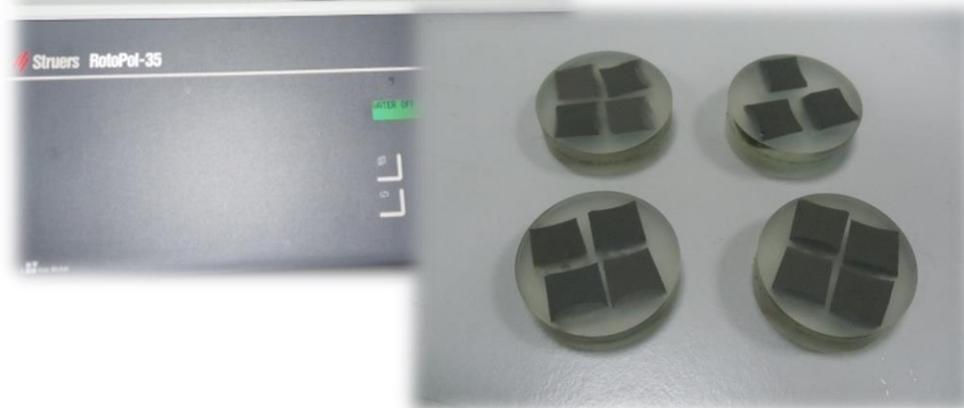
Data view



ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ



1. Рассев на микроситах продуктов флотации
2. Изготовление брикетов
3. Шлифование и полирование брикетов

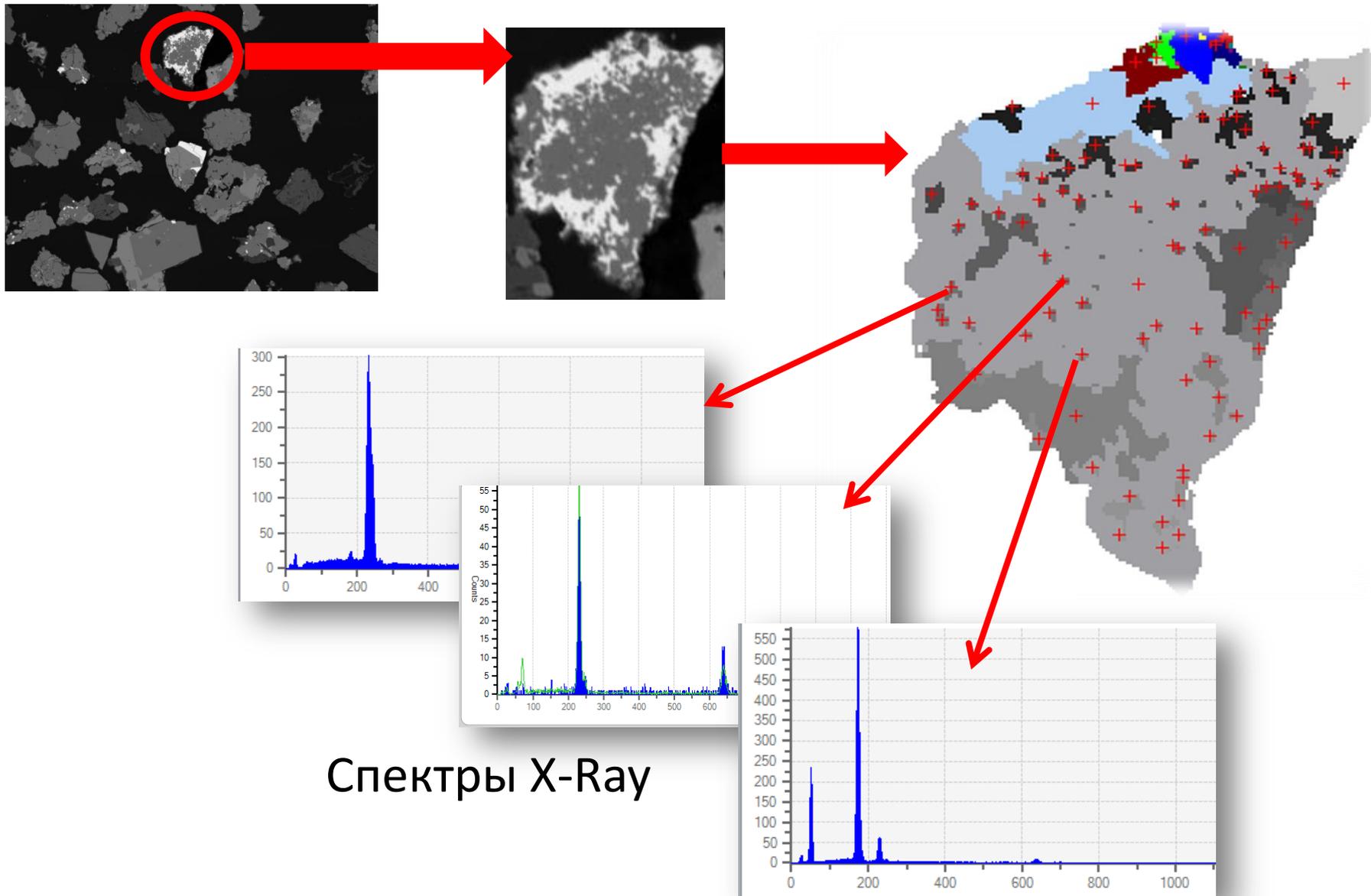


ЭТАПЫ АНАЛИЗА НА MLA SYSTEM

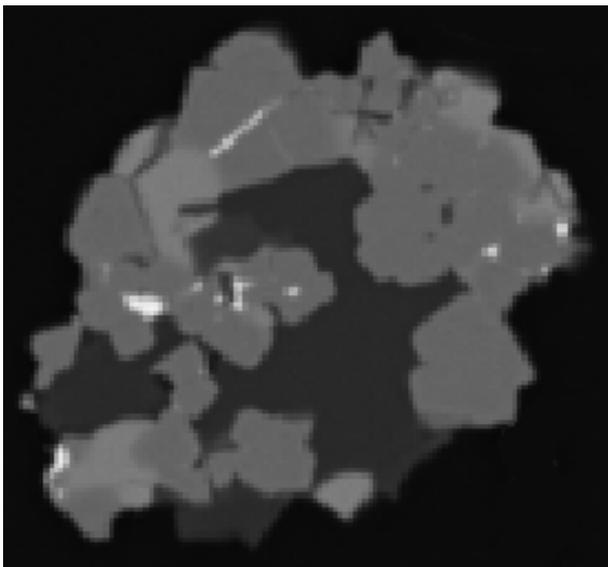
1. Настройка микроскопа и автоматизированный анализ поверхности брикета;
2. Получение первоначального списка минералов и его уточнение;
3. Классификация всех частиц и минеральных фаз образца по списку минералов;
4. Корректировка полученного изображения;
5. Вывод результатов анализа.



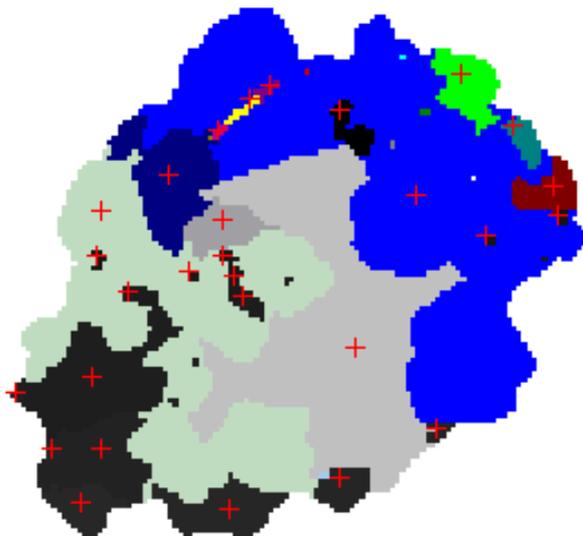
ПРИНЦИП РАБОТЫ MLA SYSTEM



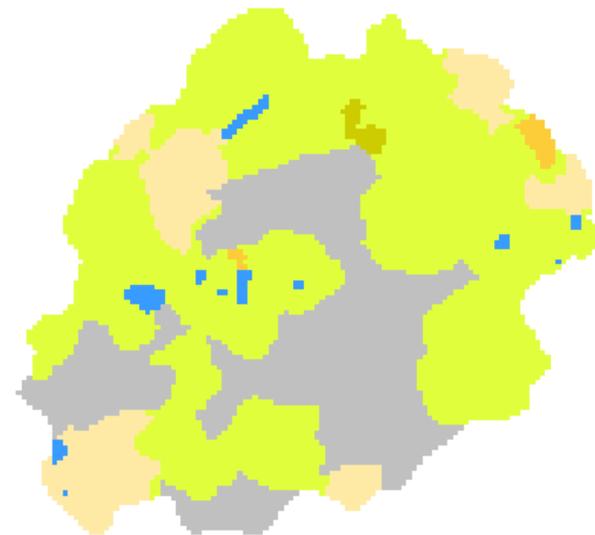
ПРИНЦИП РАБОТЫ MLA SYSTEM



Изображение в обратно-отраженных электронах

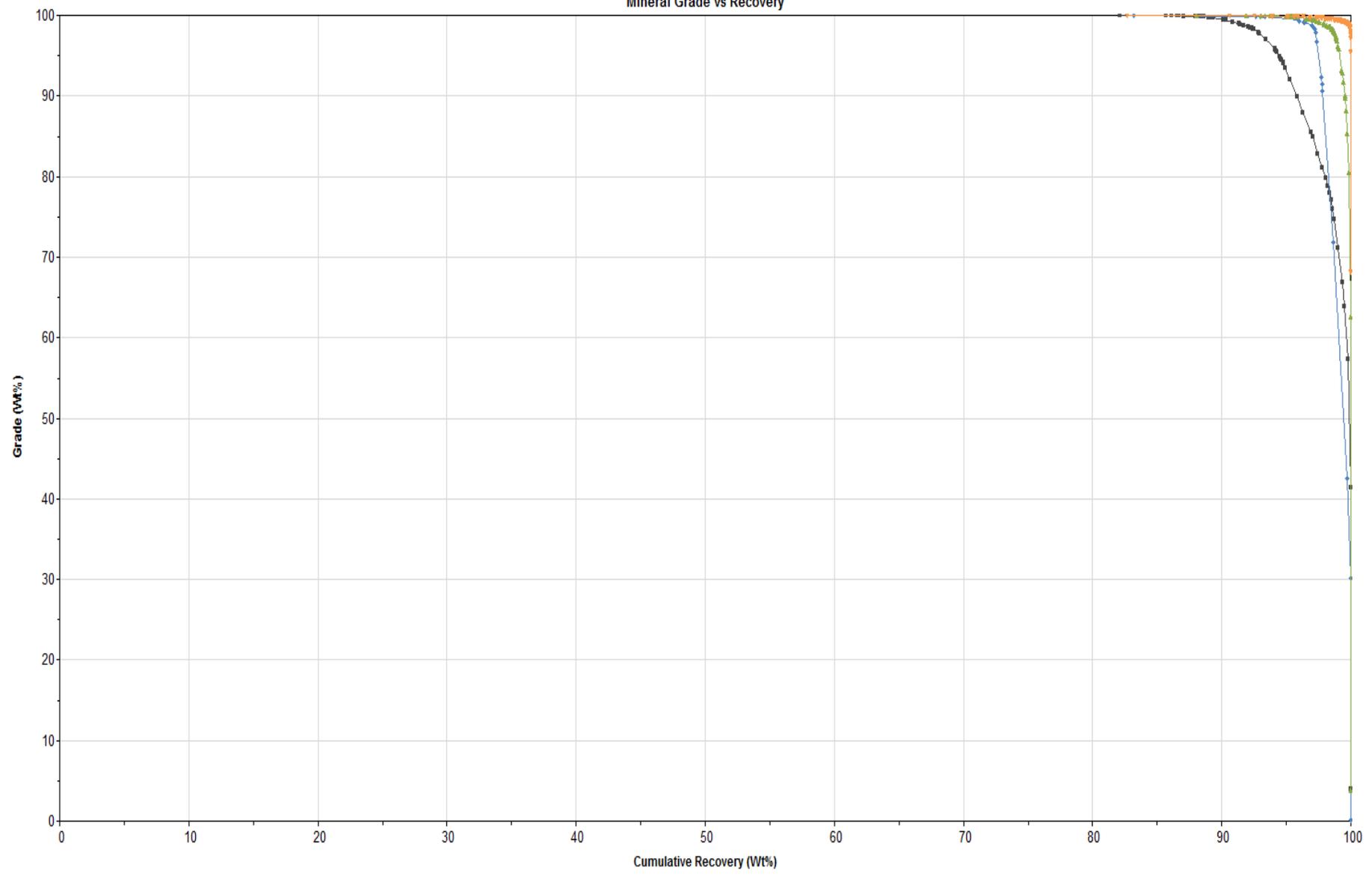


Точечный рентгенофлуоресцентный анализ каждого зерна

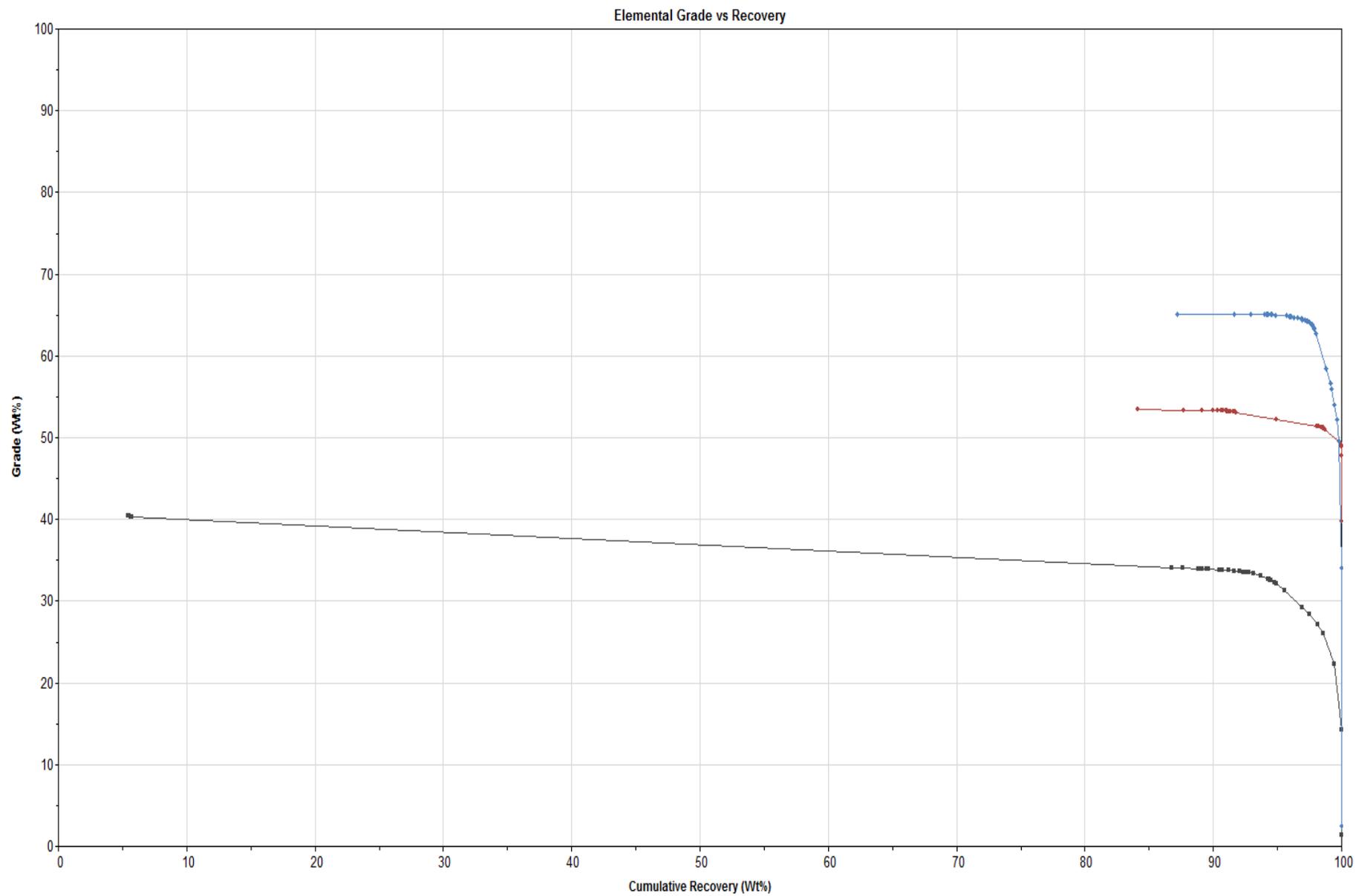


Частица пирита в сростке с кварцем, сфалеритом и включениями галенита и халькопирита

Mineral Grade vs Recovery



—■— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Chalcopyrite —◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Bornite —◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Bleklaya ruda
—◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Sphalerite —◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Pyrite

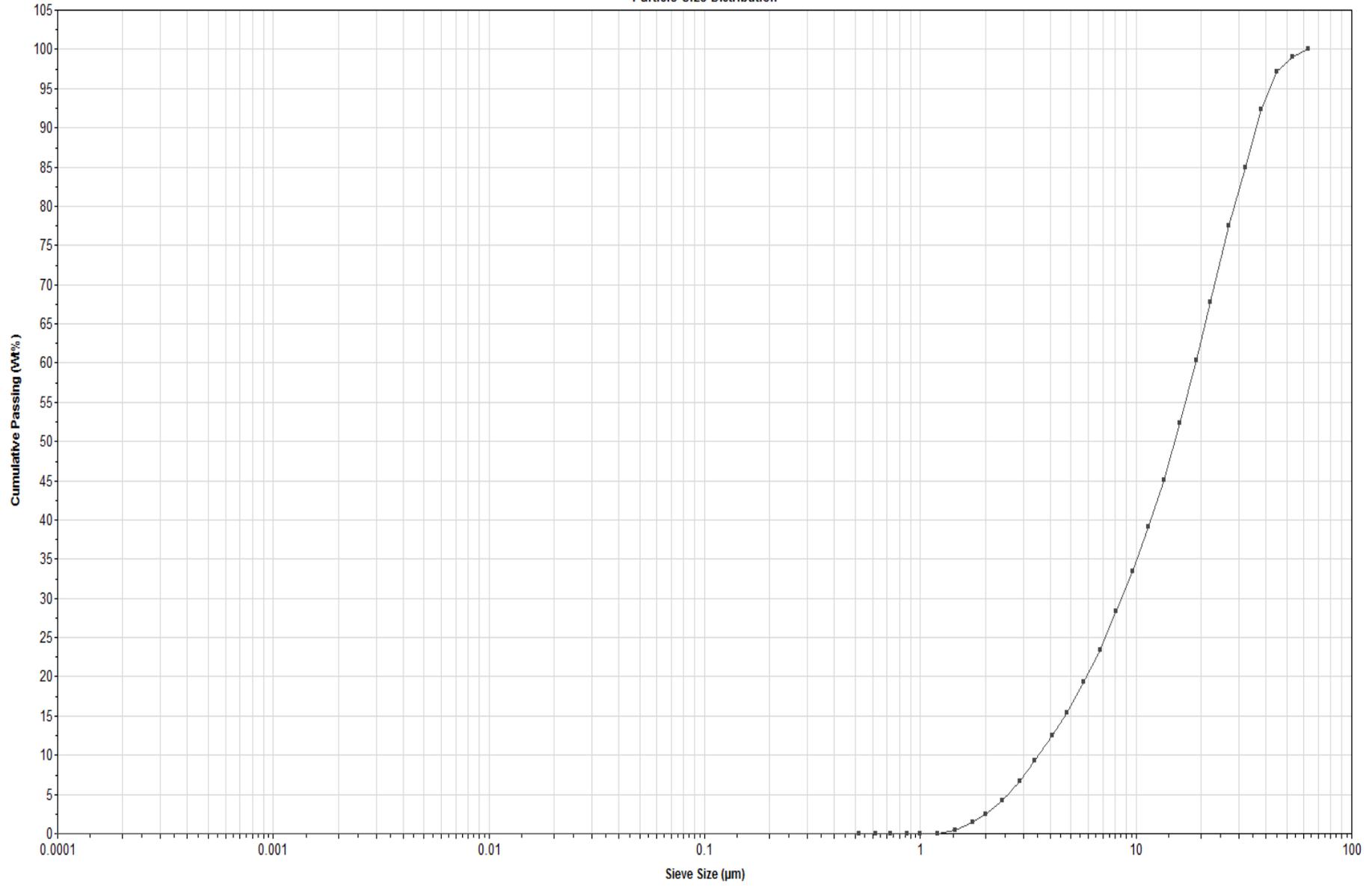


—■— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Cu

—◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - S

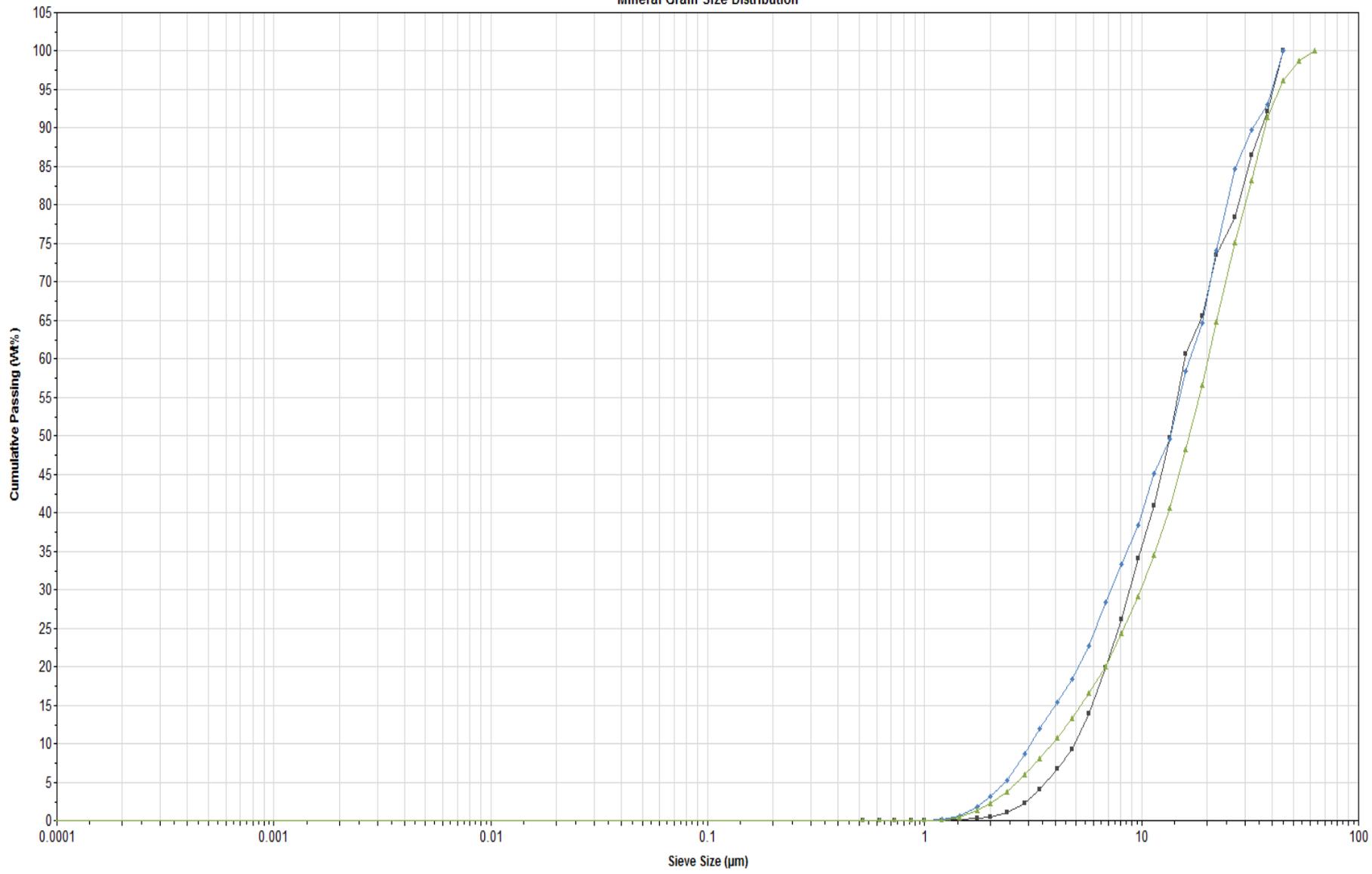
—◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Zn

Particle Size Distribution



—■— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2

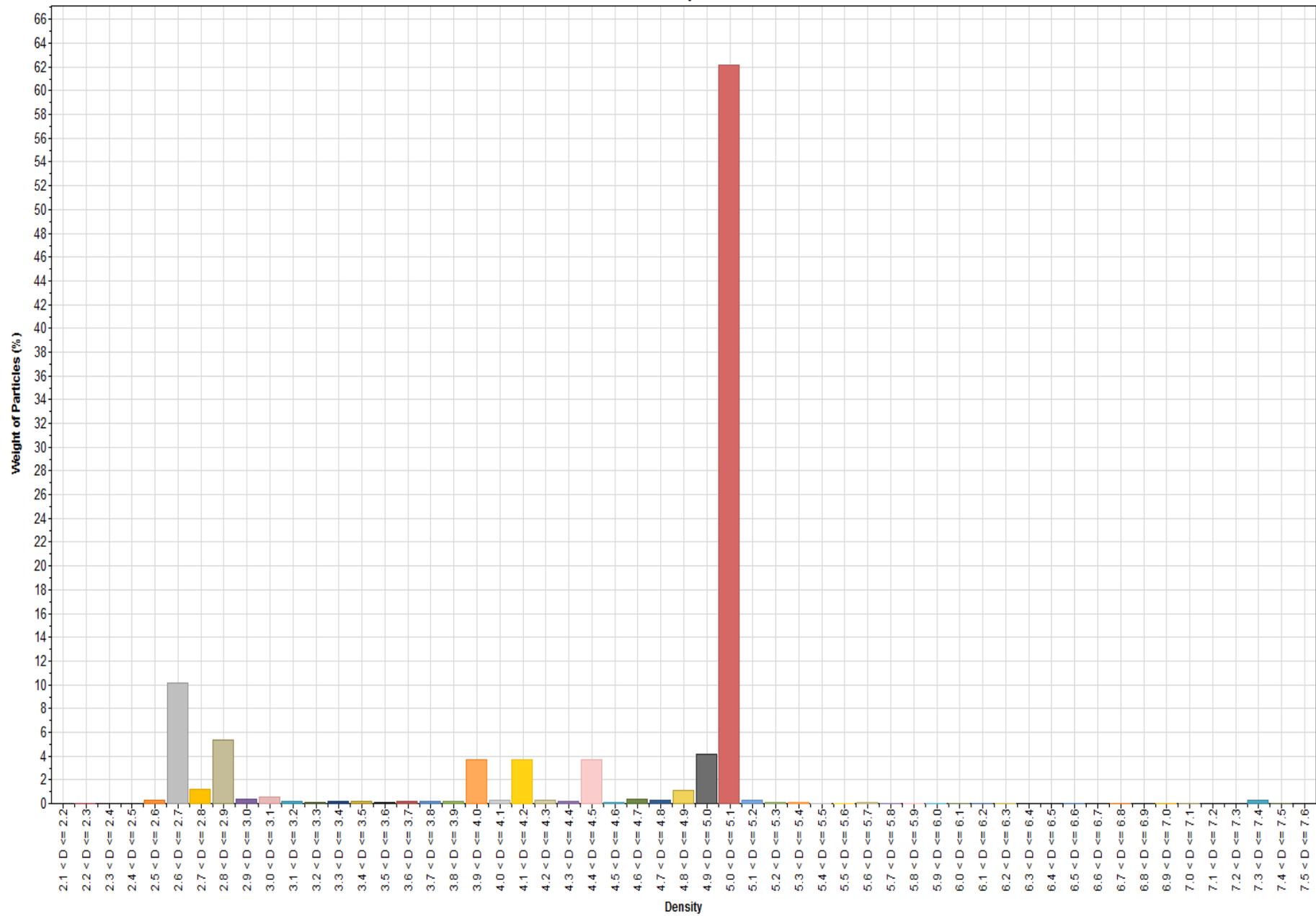
Mineral Grain Size Distribution



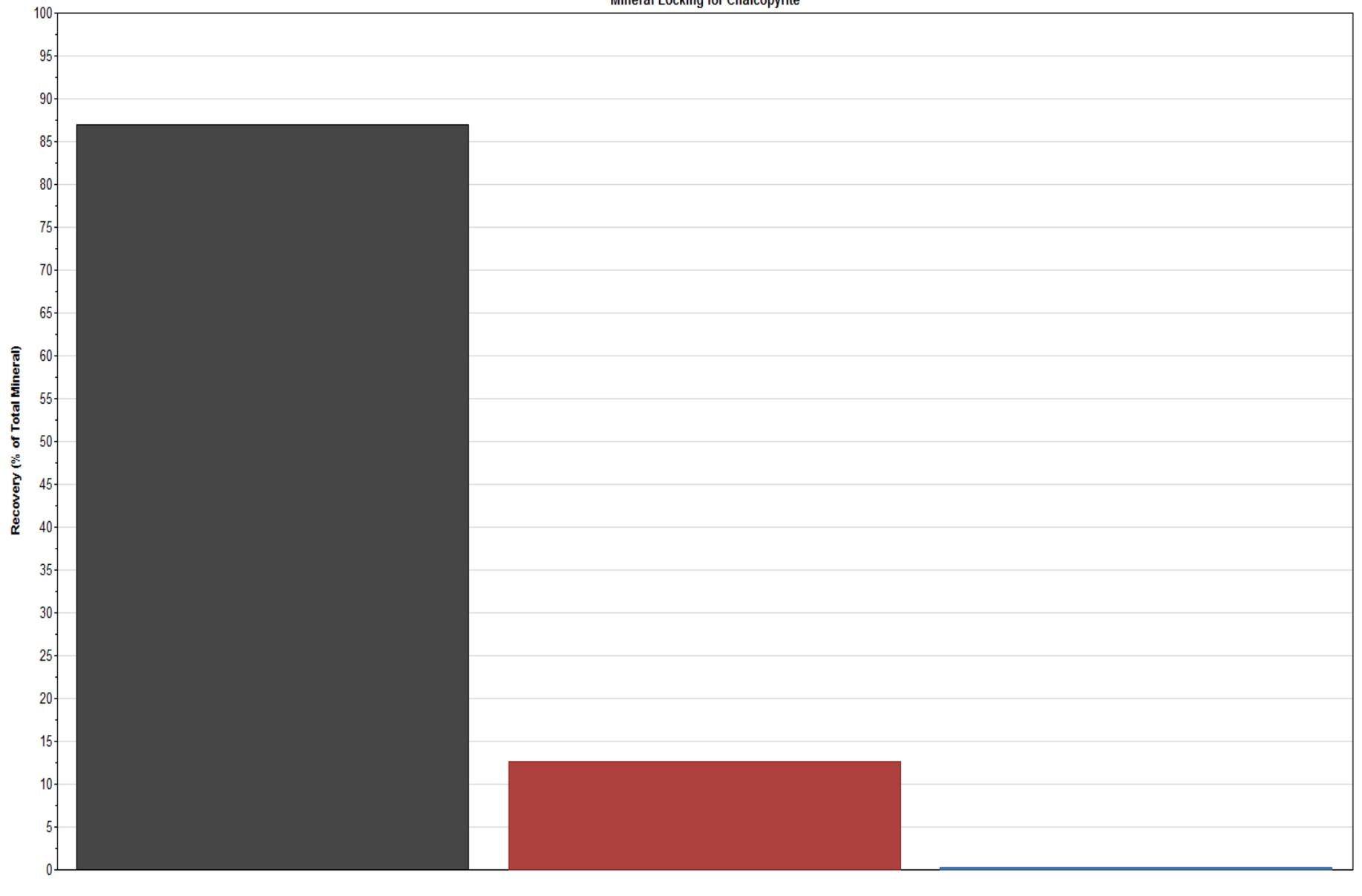
—■— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Chalcopyrite - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2
—◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Bornite - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2
—▲— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Sphalerite - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2

—▲— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Pyrite - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2

Particle Density Distribution



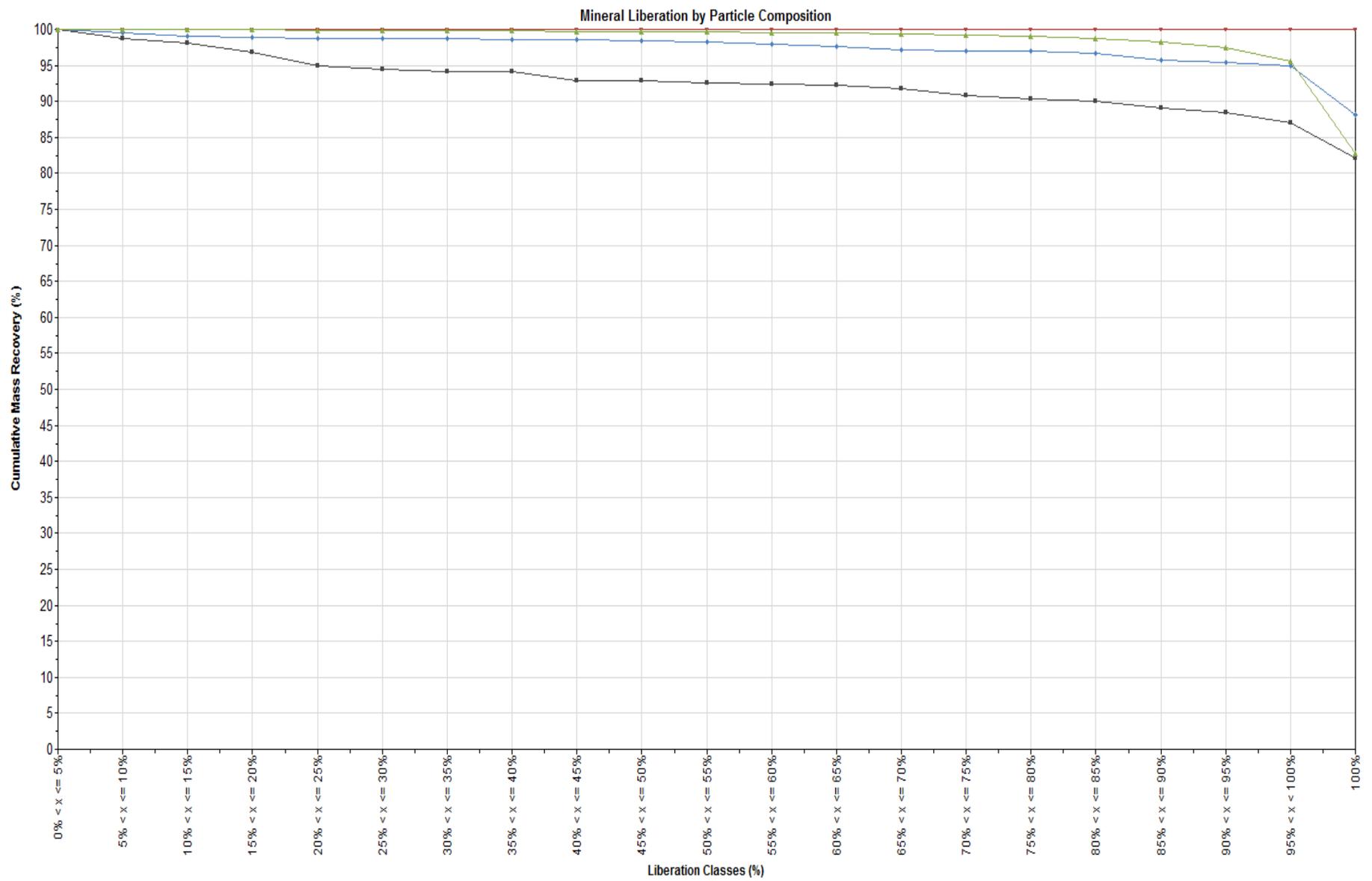
Mineral Locking for Chalcopyrite



 Liberated

 Binary

 Ternary or Greater

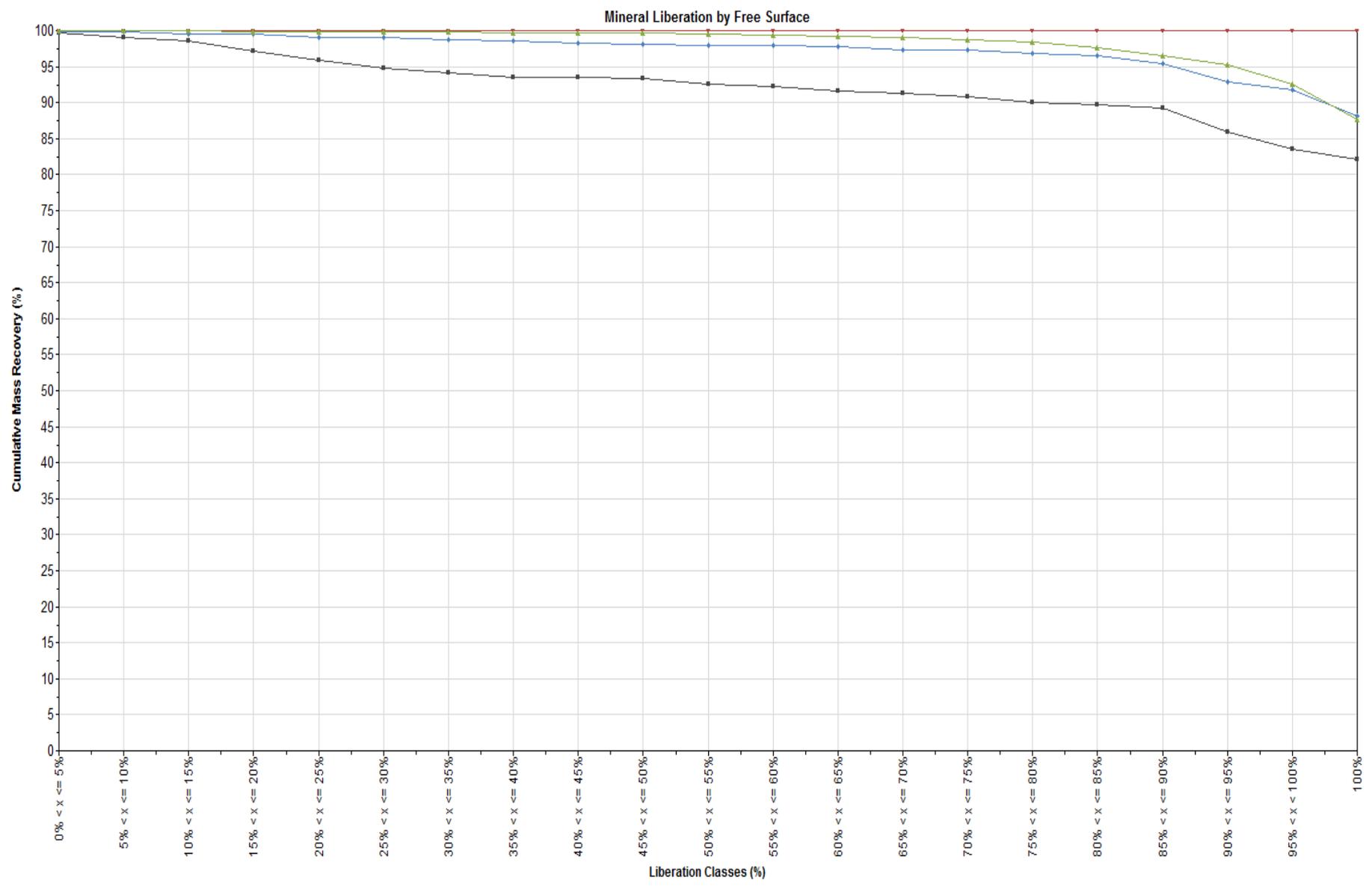


—■— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Chalcopyrite - 5% classes - Weight%

—◆— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Bornite - 5% classes - Weight%

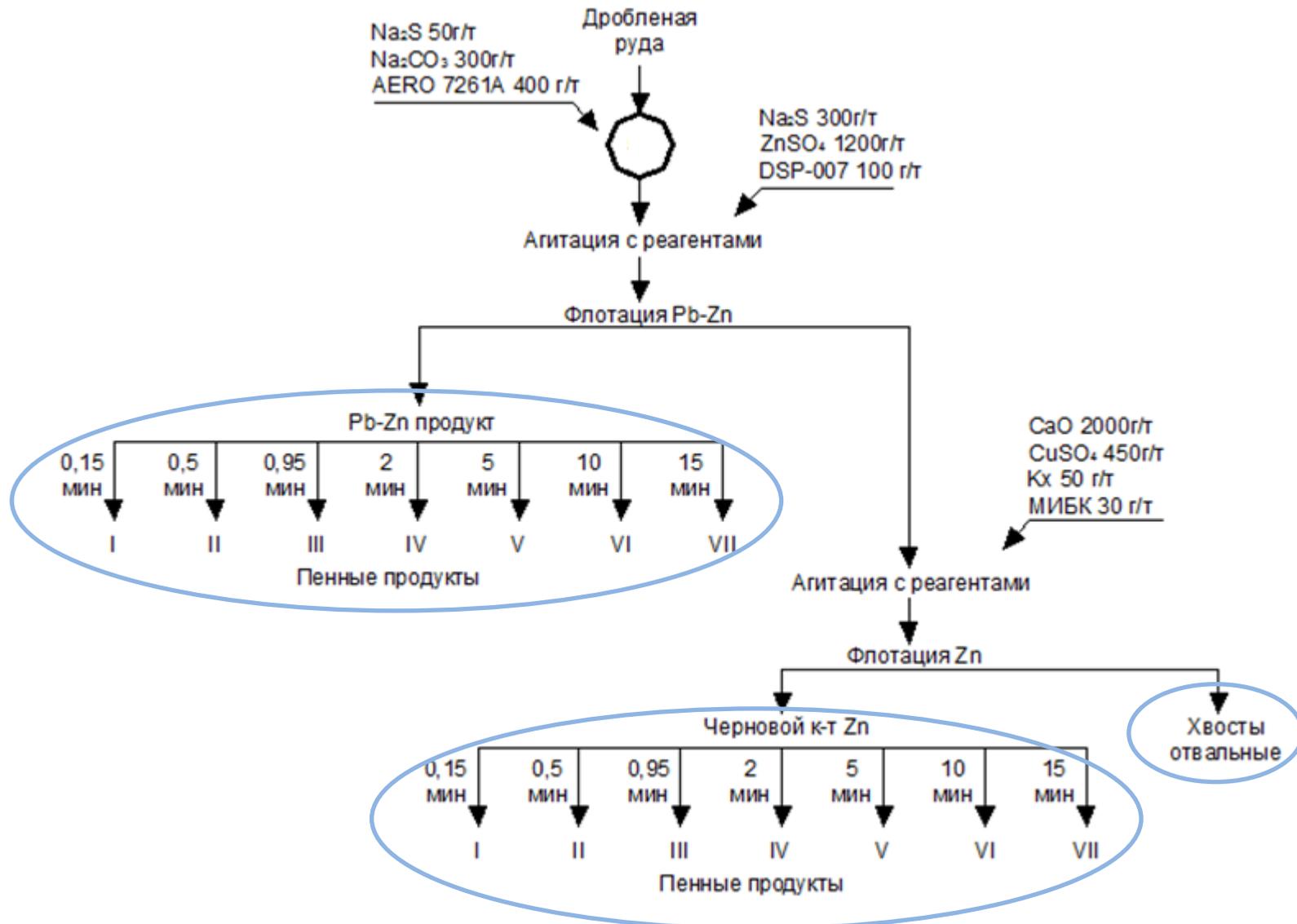
—▲— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Sphalerite - 5% classes - Weight%

—▲— Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Pyrite - 5% classes - Weight%



- Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Chalcopyrite - Weight%
- Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Bornite - Weight%
- Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Sphalerite - Weight%
- Cu-Zn1(-0,045)_XBSE_STD - Mineral Grouping_1 - Pyrite - Weight%

Схема флотационного опыта



Показатели

Продукт	Выход. %	Металл			
		Свинец		Цинк	
		β. %	ε. %	β. %	ε. %
Черн. Pb-Zn конц.	27.20	2.84	86.08	5.08	28.42
Черн. Zn конц.	24.10	0.34	9.25	13.83	68.48
Хвосты	48.70	0.09	4.67	0.31	3.10
Исходная руда	100.00	0.90	100.00	4.87	100.00

Продукт	Выход. %	Минерал							
		Галенит		Пирит		Сфалерит		Несульфидные	
		β. %	ε. %	β. %	ε. %	β. %	ε. %	β. %	ε. %
Черн. Pb-Zn конц.	27.20	3.30	86.08	69.00	48.23	8.20	28.42	19.50	10.16
Черн. Zn конц.	24.10	0.40	9.25	44.20	27.37	22.30	68.48	33.10	15.28
Хвосты	48.70	0.10	4.67	19.50	24.40	0.50	3.10	79.90	74.55
Исходная руда	100.00	1.04	100.00	38.92	100.00	7.85	100.00	52.19	100.00

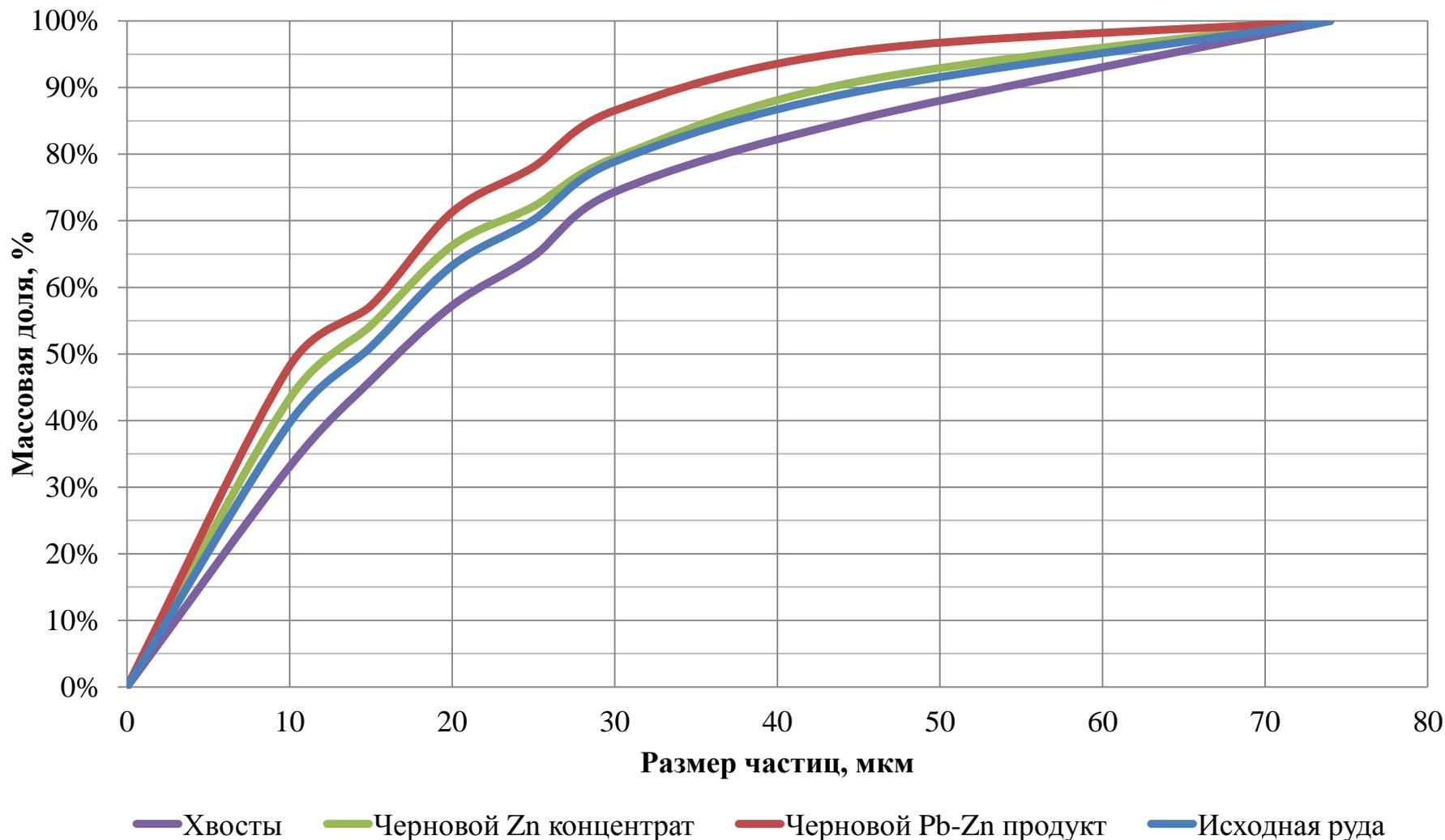
Минеральный состав руды и продуктов флотации (Pb-Zn месторождение)

Минералы	Исходная руда	Черновой Pb-Zn продукт	Черновой Zn концентрат	Хвосты
	Массовая доля, %			
Галенит	1,03	3,28	0,38	0,10
Пирит	38,95	69,02	44,25	19,52
Сфалерит	7,84	8,21	22,32	0,46
Алюмосиликаты	8,44	3,71	6,80	11,90
Карбонаты	34,00	11,80	19,45	53,61
Барит	2,44	0,86	1,37	3,85
Кварц	5,74	2,24	4,10	8,51
Прочие	1,55	0,87	1,33	2,05
Всего	100,00	100,00	100,00	100,00

Ассоциации минералов в исходной руде (Pb-Zn месторождение)

Минерал	Свободный	В сростках , %			
		С галенитом	С пиритом	Со сфалеритом	С прочими
Галенит	49,36	0,0	36,72	9,82	4,11
Сфалерит	75,08	1,68	18,55	0,0	9,15
Пирит	81,79	2,22	0,0	6,85	4,69
Прочие	94,02	0,15	4,95	0,89	0,0

Гранулометрический состав исходной руды и продуктов флотации



Ситовый анализ



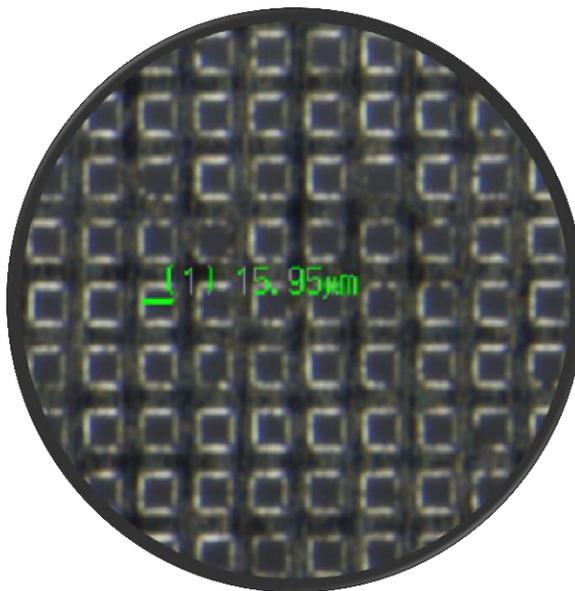
Установка для ситового анализа

Классы крупности, мкм:

+45; -45 +30; -30 +25;

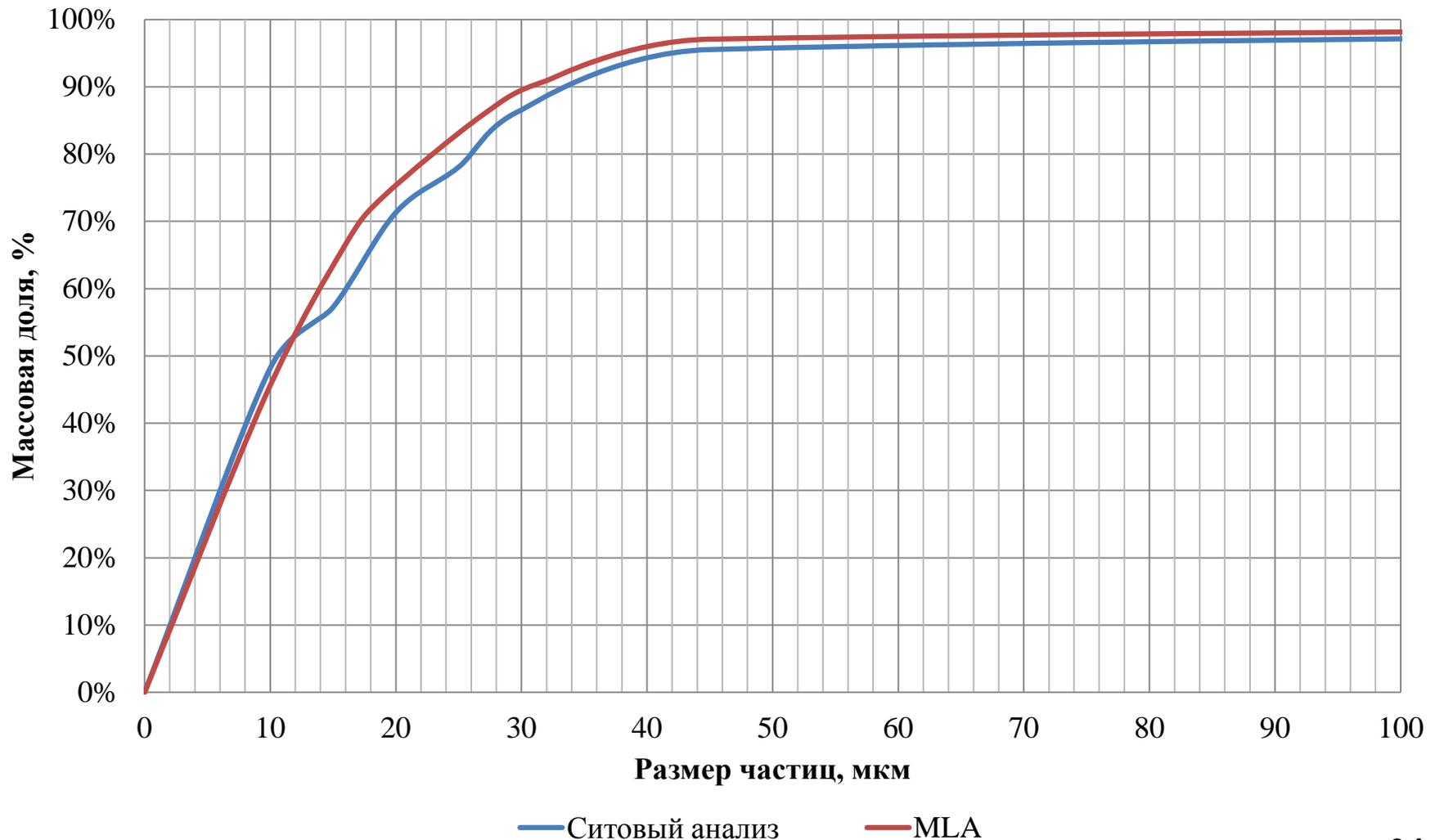
-25 +20; -20 +15;

-15 +10; -10 +0

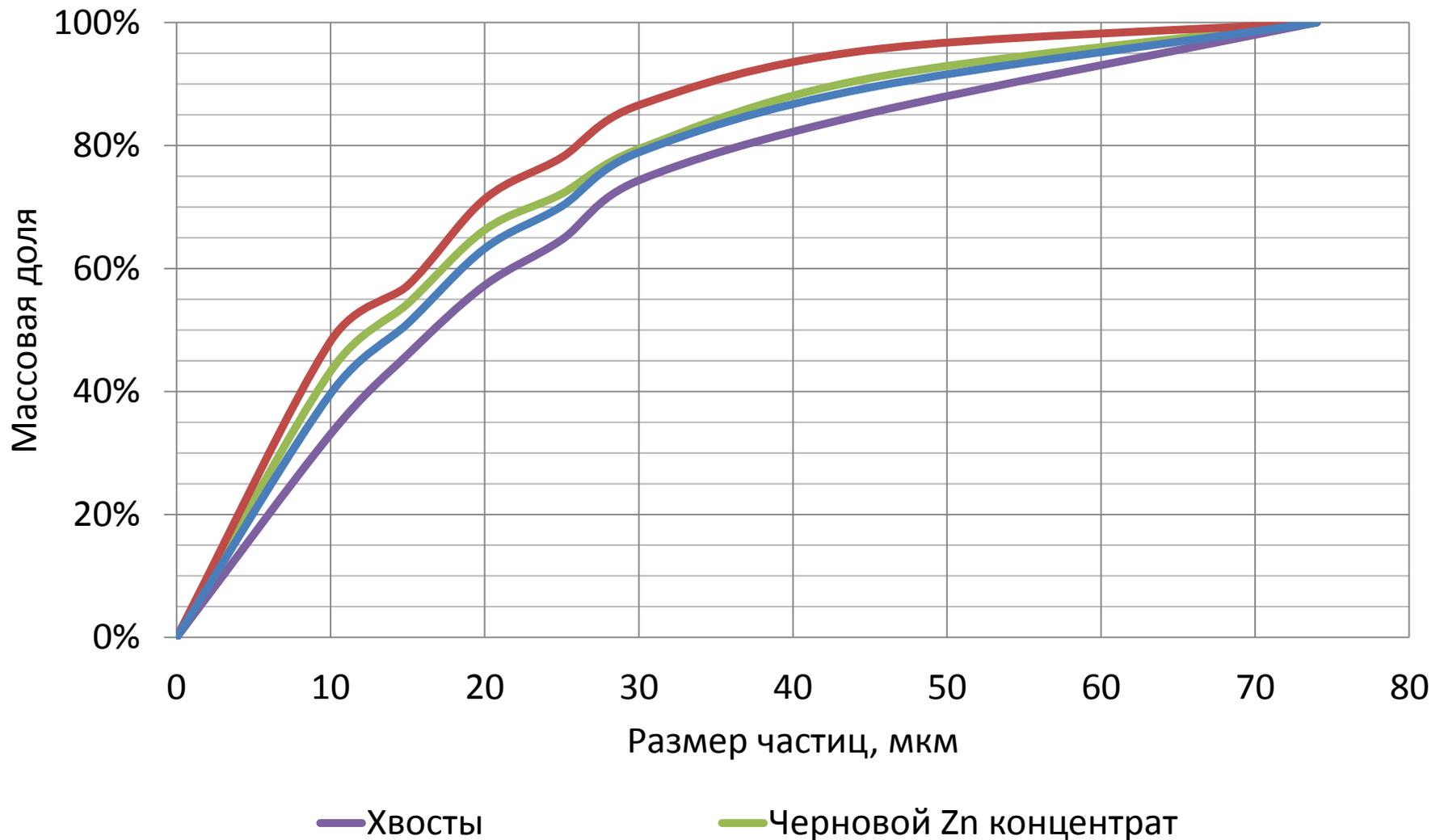


Микросито
с размером
отверстий 15 мкм
(под микроскопом)

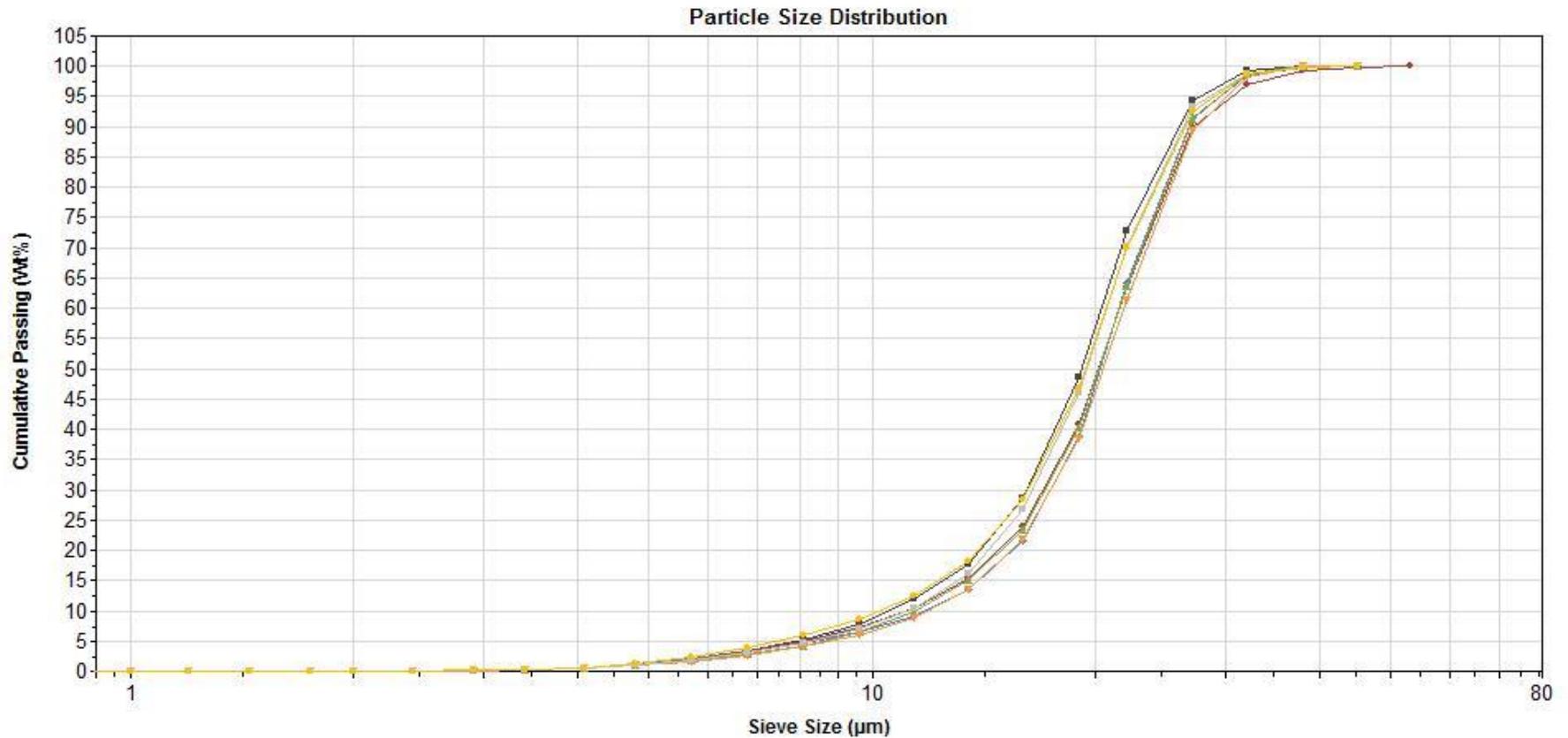
Сравнение результатов ситового анализа и расчетов MLA на примере Pb-Zn продукта



Гранулометрический состав исходной руды и продуктов флотации

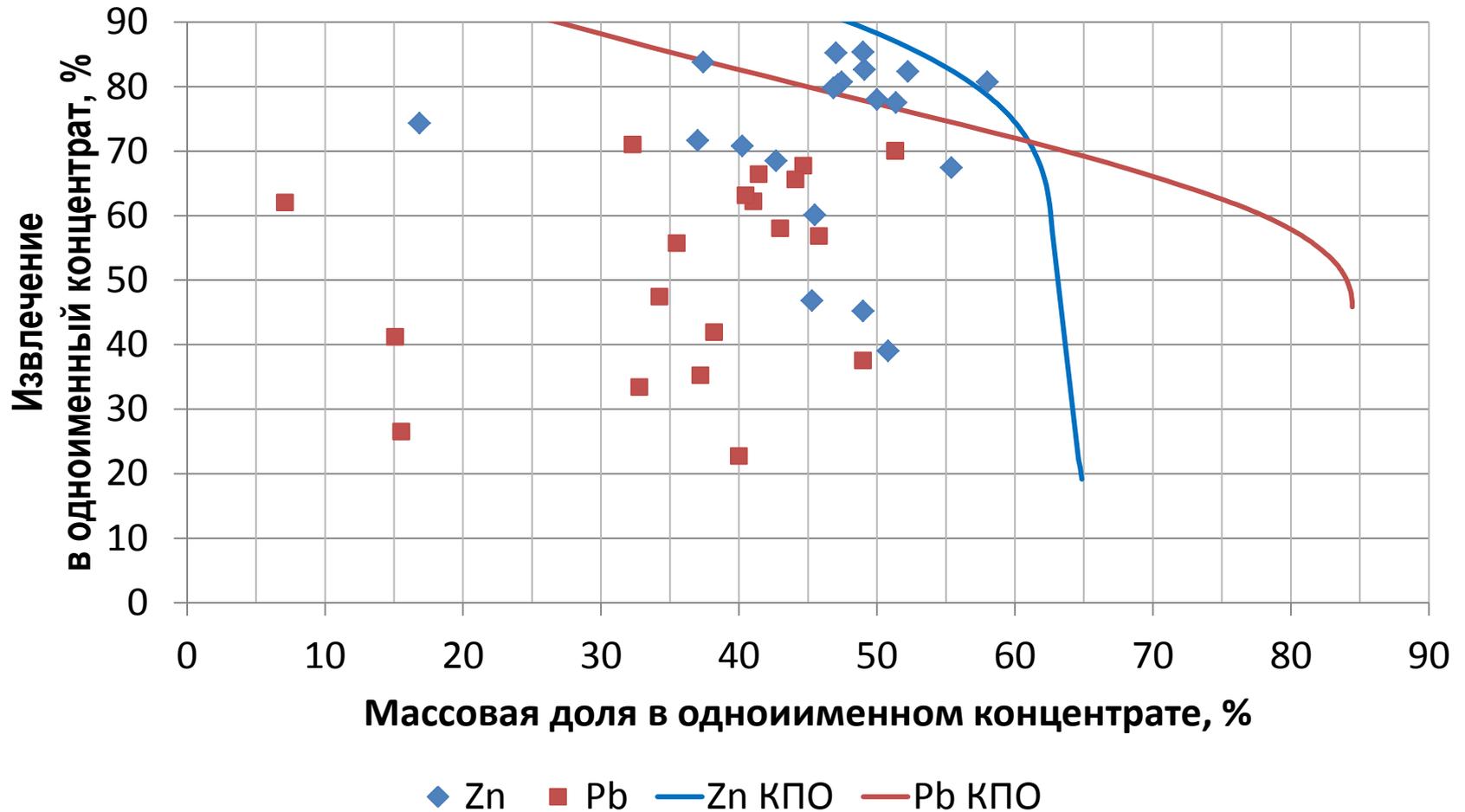


Распределение частиц по размерам в классе крупности -25 +20 мкм



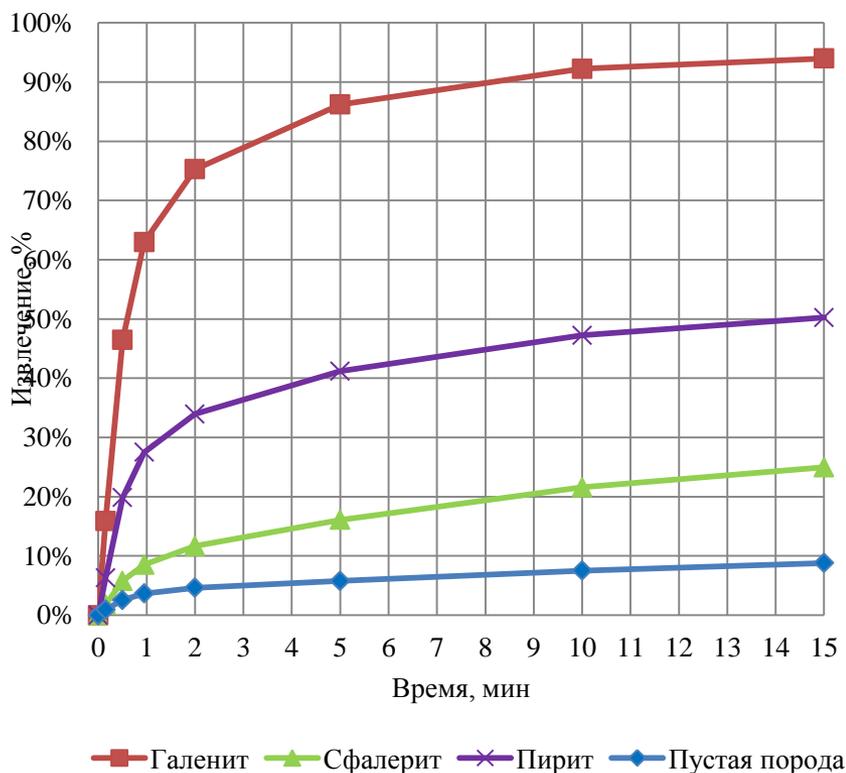
—■— 2214_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2 —●— 2224_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2 —◆— 2234_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2
—▲— 2244_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2 —▼— 2254_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2 —◻— 2264_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2
—◆— 2274_XBSE - Equivalent Circle - 4 Sqrt 2

Данные для свинцового и цинкового концентратов по изучению обогатимости проб за период с 1964 г. по 2010 г. и расчетные кривые предельной обогатимости свинца и цинка (КПО)

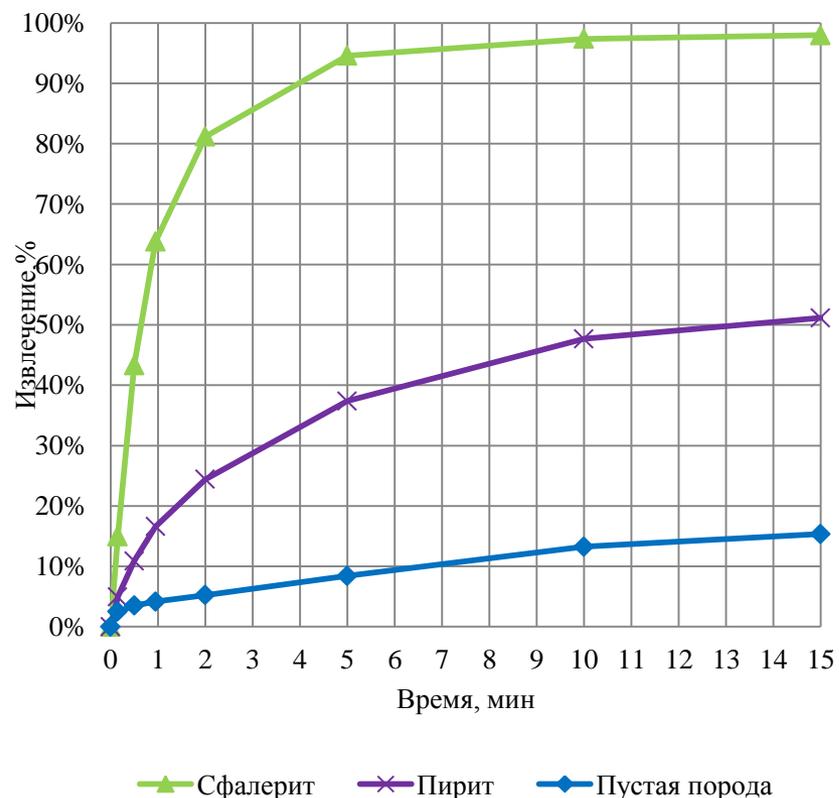


Кинетики флотации минералов

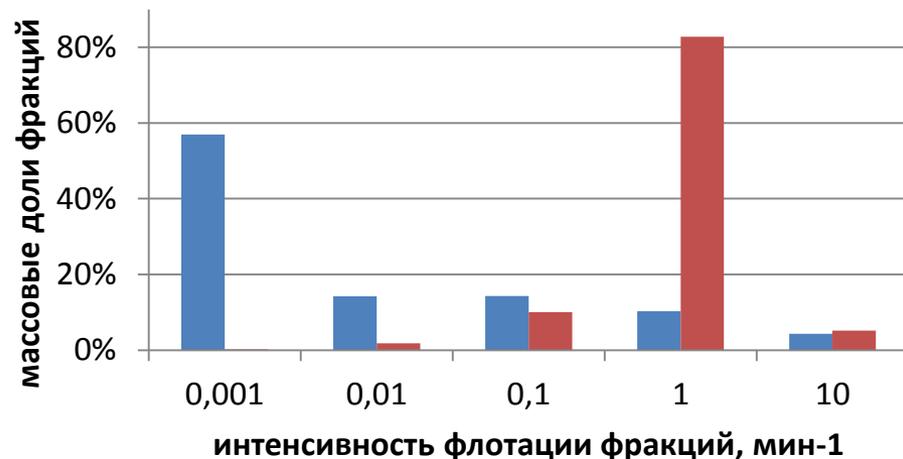
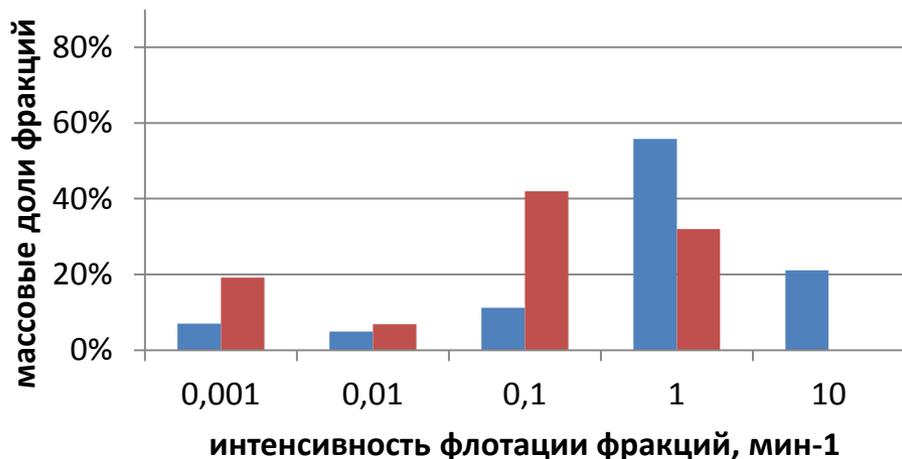
Кинетика свободных минералов в операции свинцово-цинковой флотации



Кинетика свободных минералов в операции цинковой флотации

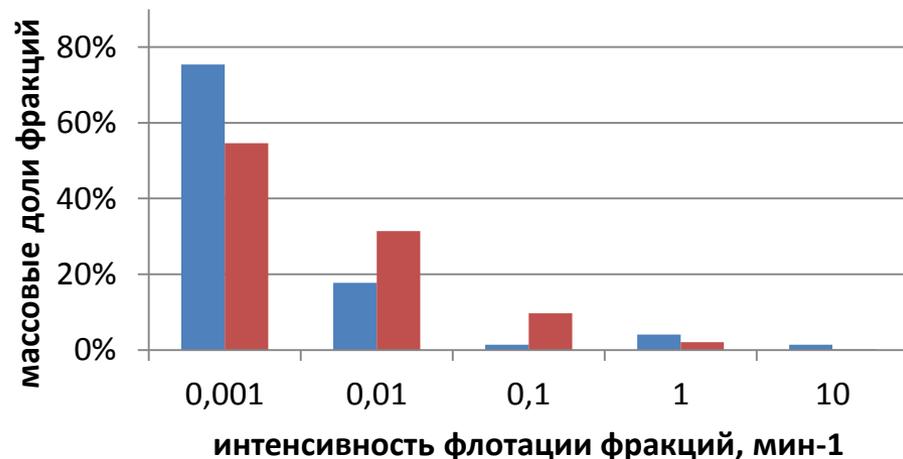
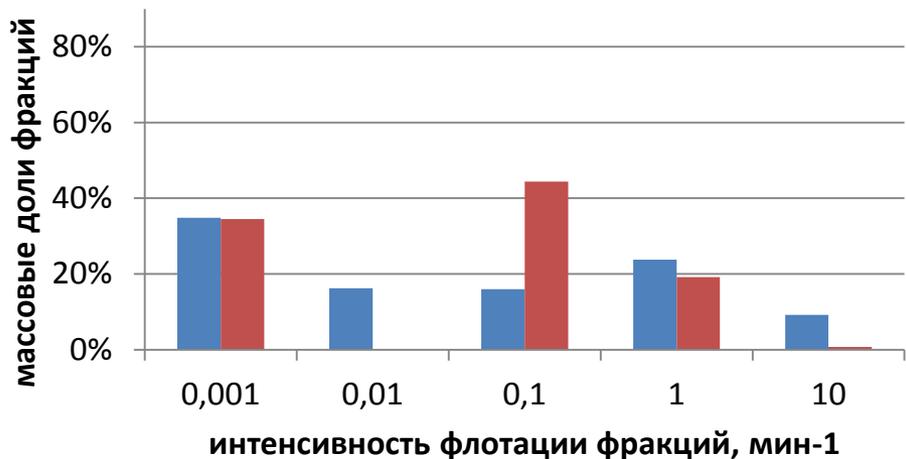


Спектры флотирuemости минералов



■ Pb-Zn флотация галенит ■ Zn флотация галенит

■ Pb-Zn флотация сфалерит ■ Zn флотация сфалерит

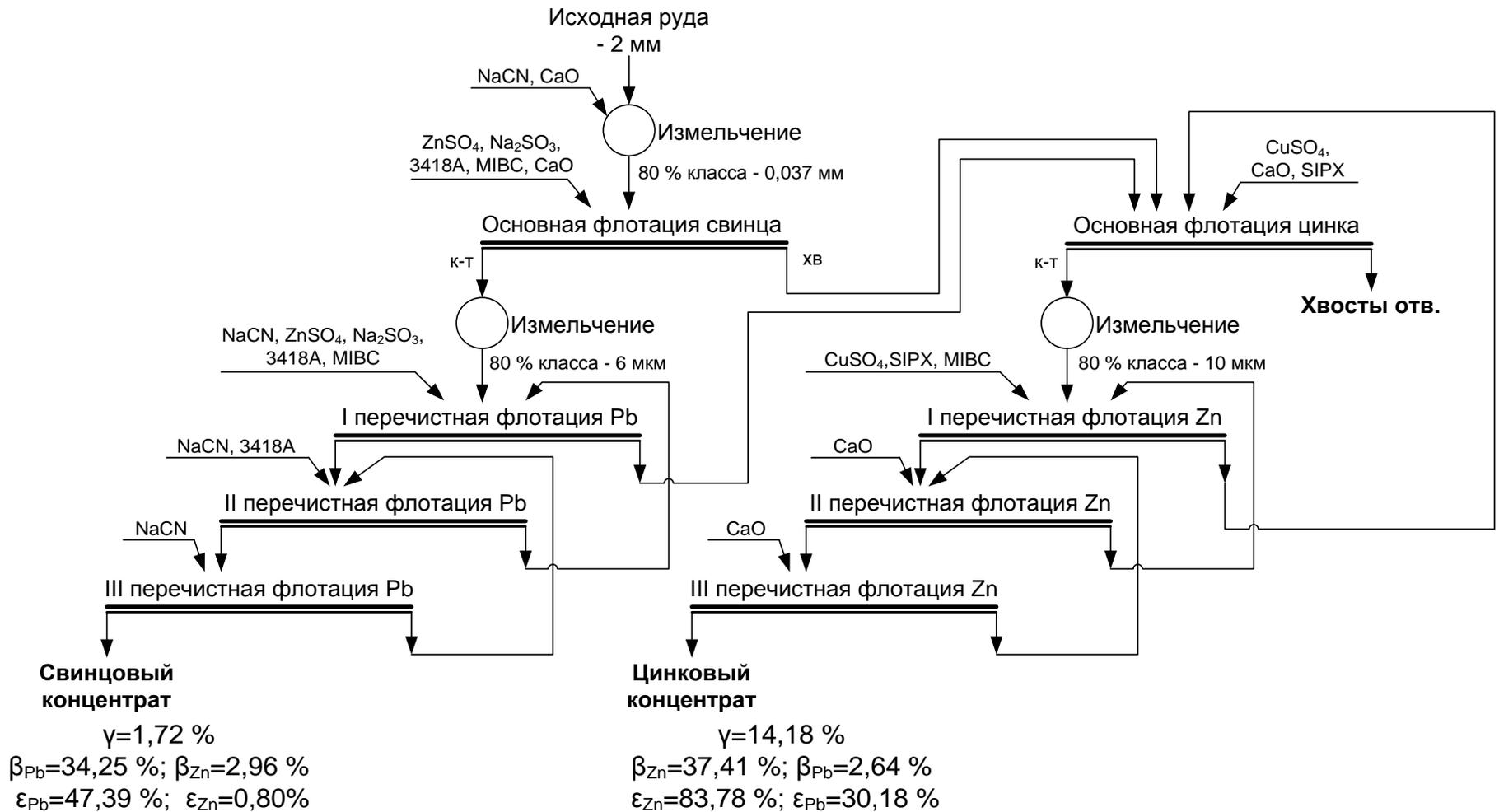


■ Pb-Zn флотация пирит ■ Zn флотация пирит

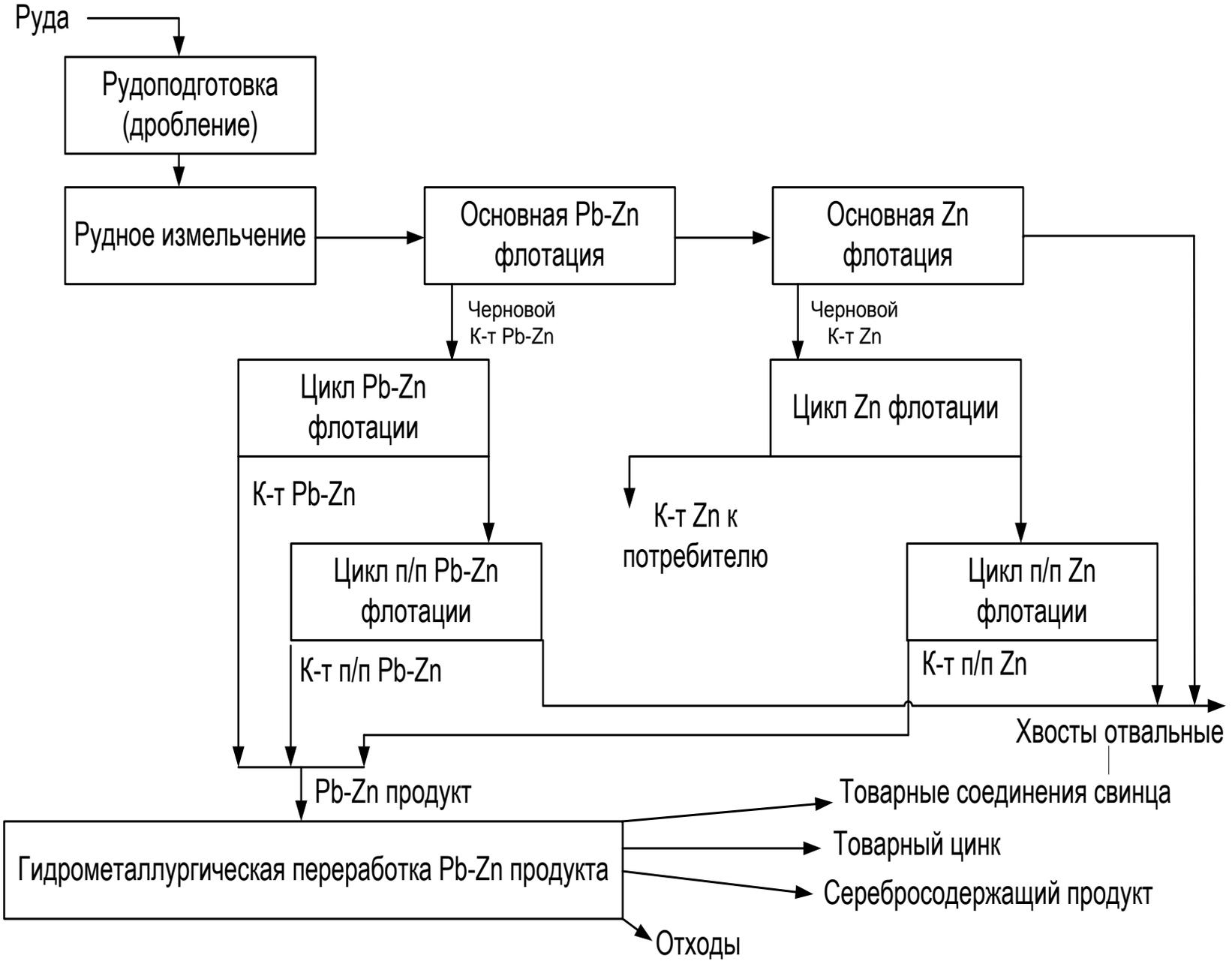
■ Pb-Zn флотация порода ■ Zn флотация порода

РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2008 г. АО «Институт «ТОМС»»



Вариант комбинированной технологии переработки руды Озерного месторождения

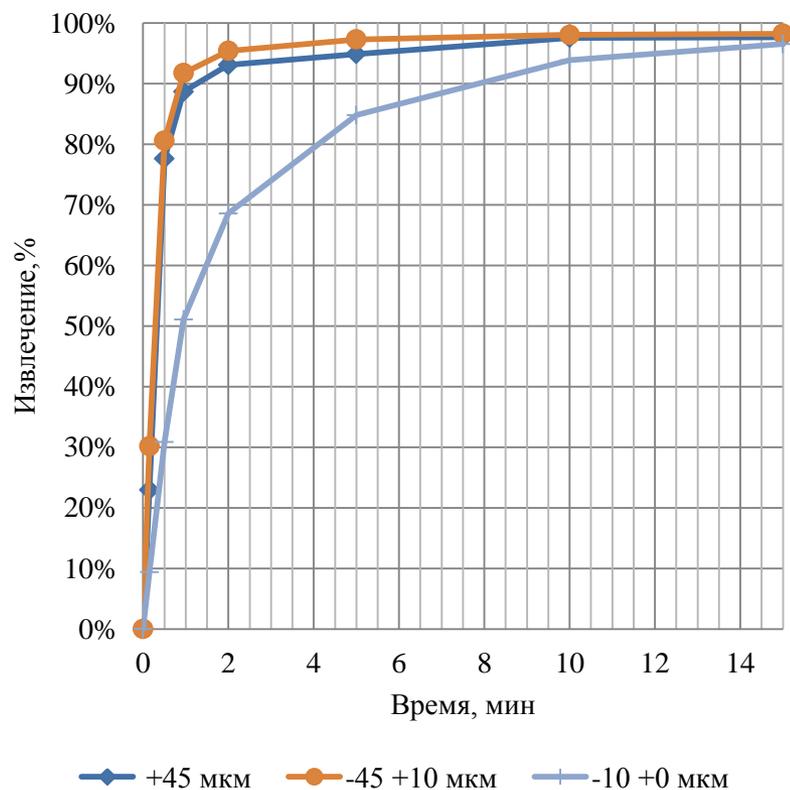


Балансы металлов

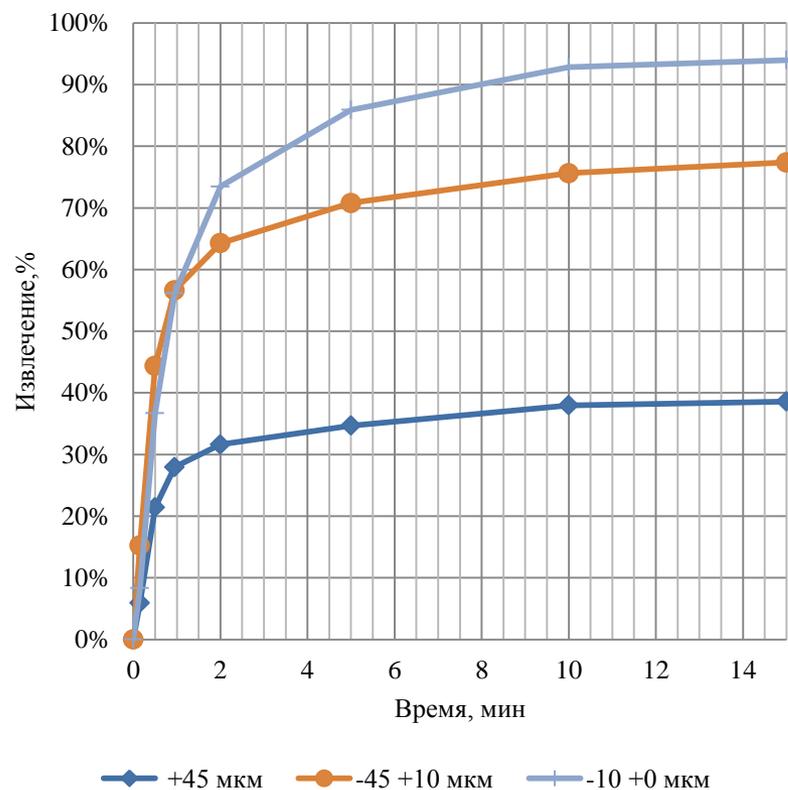
Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Комбинированная схема					
Цинковый концентрат	5.44	1.53	52.98	7.85	51.65
Цинк металлический	1.64	0.00	99.99	0.00	29.40
Карбонат свинца	0.72	75.38	0.00	51.20	0.00
Хвосты флотации	78.40	0.52	1.26	38.77	17.73
Хвосты гидрометаллургии	13.80	0.17	0.49	2.18	1.22
Хвосты отвальные	92.20	0.47	1.15	40.95	18.95
Руда	100.00	1.06	5.58	100.00	100.00
Товарное извлечение				51.20	81.05
Pb-Zn продукт (для справки)	16.16	3.50	10.57	53.38	30.62
Традиционная схема					
Zn концентрат	14.18	2.64	37.41	30.18	83.78
Pb концентрат	1.72	34.25	2.96	47.39	0.80
Хвосты	84.10	0.33	1.16	22.43	15.42
Руда	100.00	1.24	6.33	100.00	100.00

КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ ГАЛЕНИТА ПО КЛАССАМ ПО КРУПНОСТИ В ОПЕРАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ

Свободные зерна

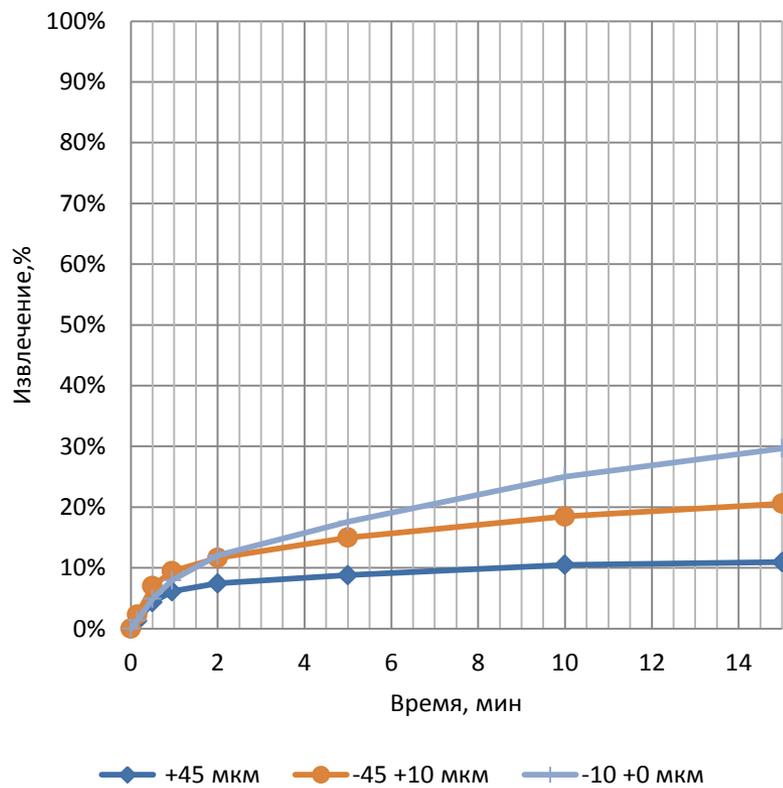


Сростки

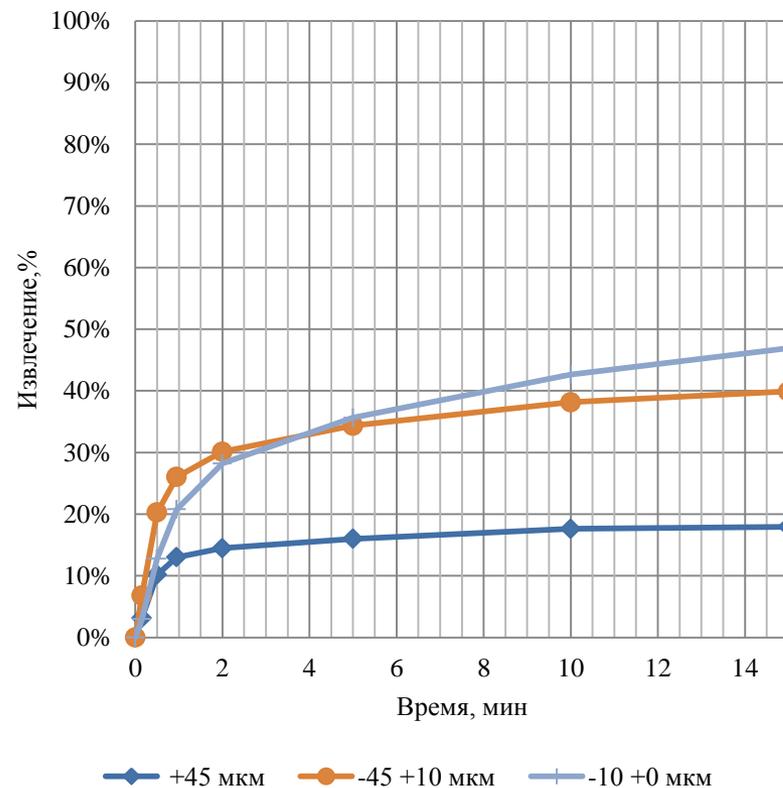


КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ СФАЛЕРИТА ПО КЛАССАМ ПО КРУПНОСТИ В ОПЕРАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ

Свободные зерна

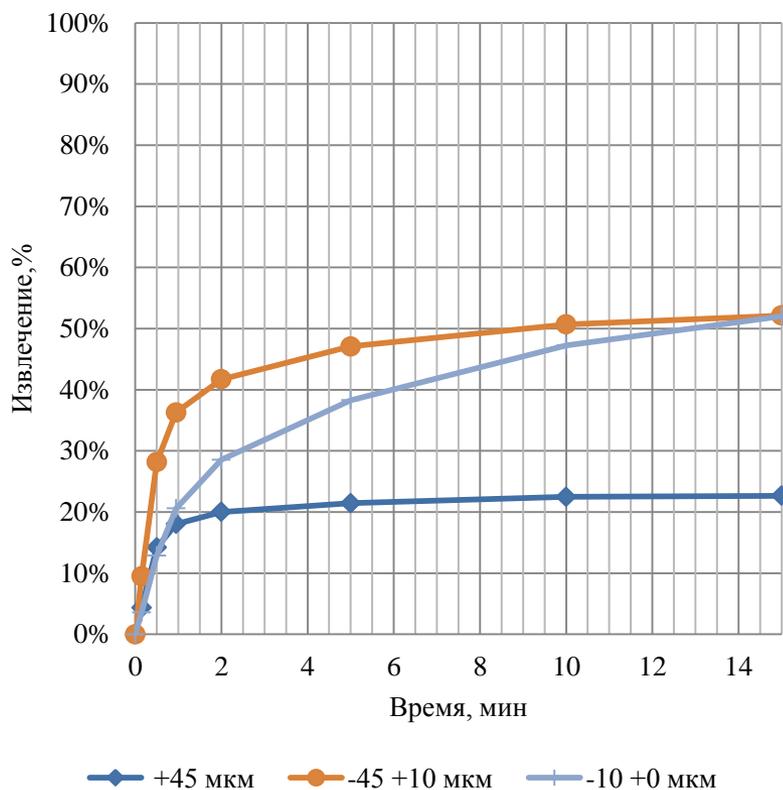


Сростки

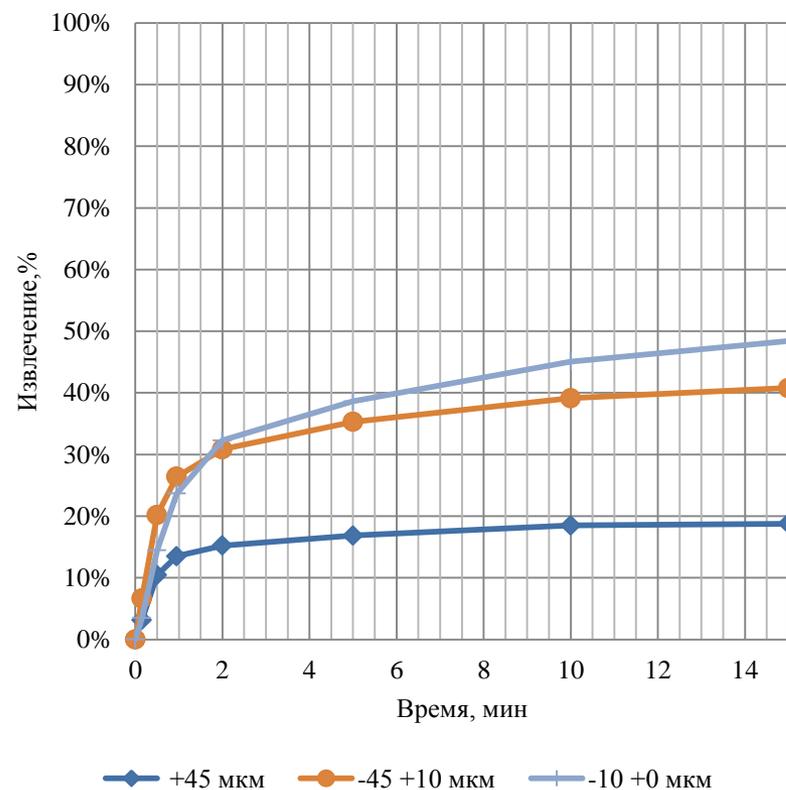


КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ ПИРИТА ПО КЛАССАМ ПО КРУПНОСТИ В ОПЕРАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ

Свободные зерна

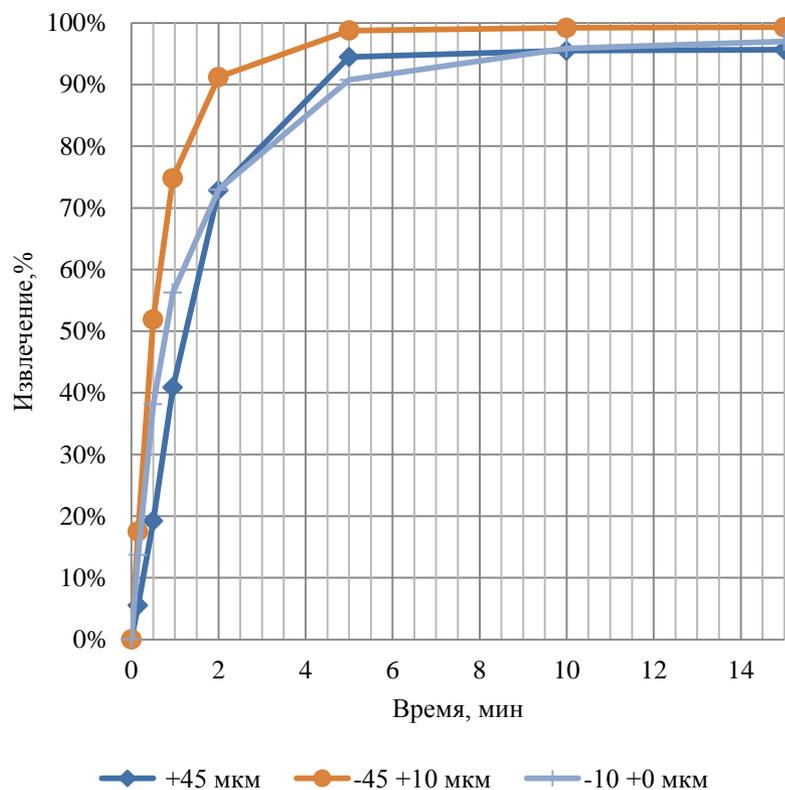


Сростки

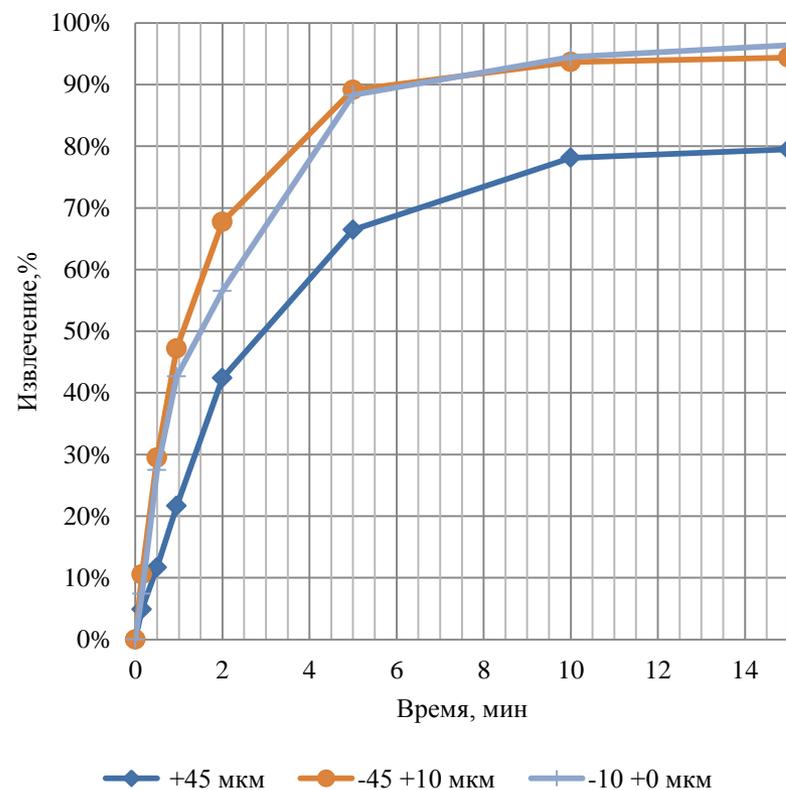


КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ СФАЛЕРИТА ПО КЛАССАМ ПО КРУПНОСТИ В ОПЕРАЦИИ ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ

Свободные зерна

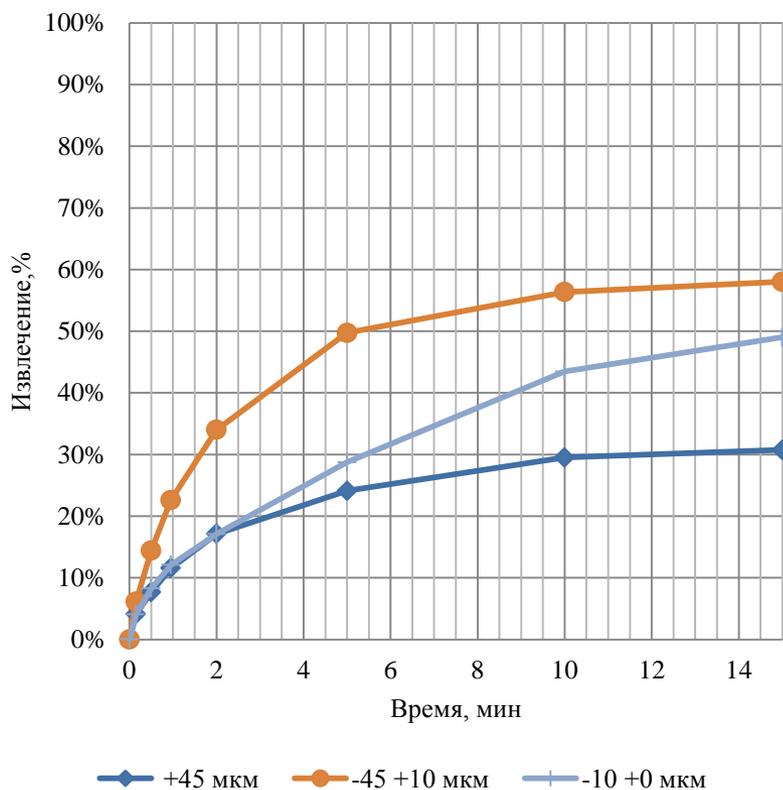


Сростки

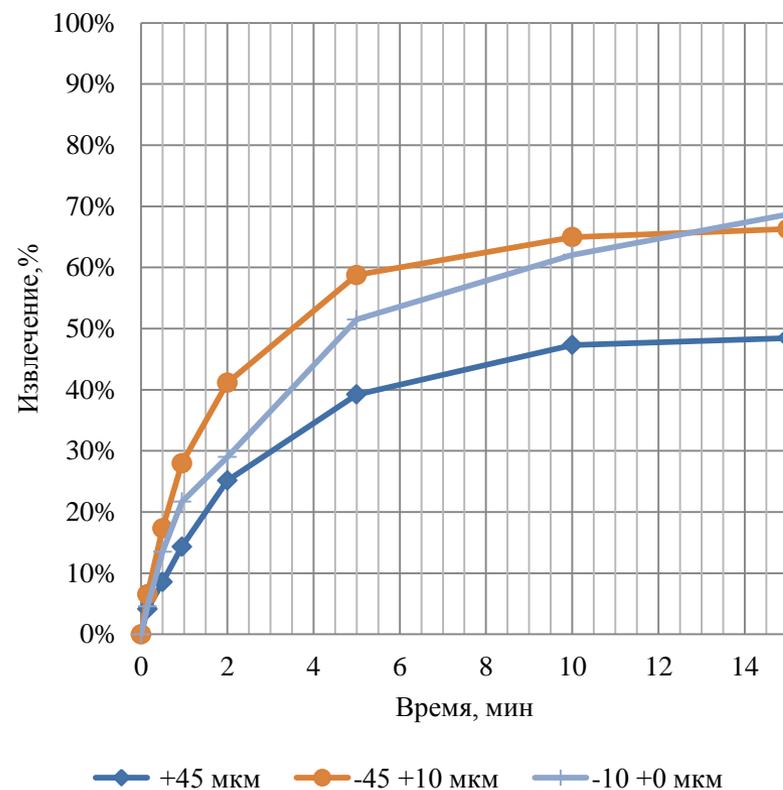


КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ ПИРИТА ПО КЛАССАМ ПО КРУПНОСТИ В ОПЕРАЦИИ ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ

Свободные зерна

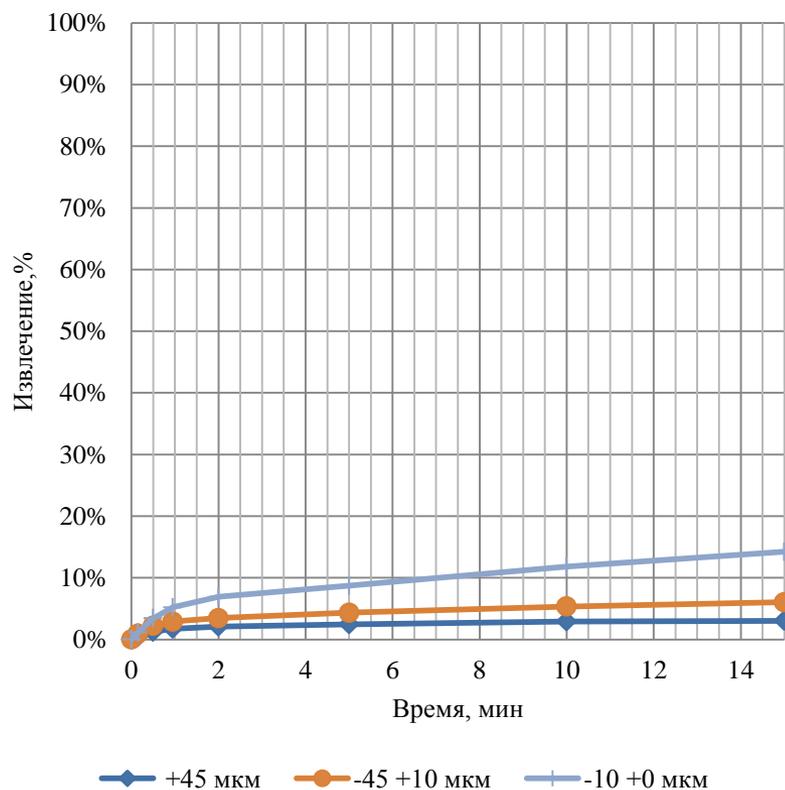


Сростки

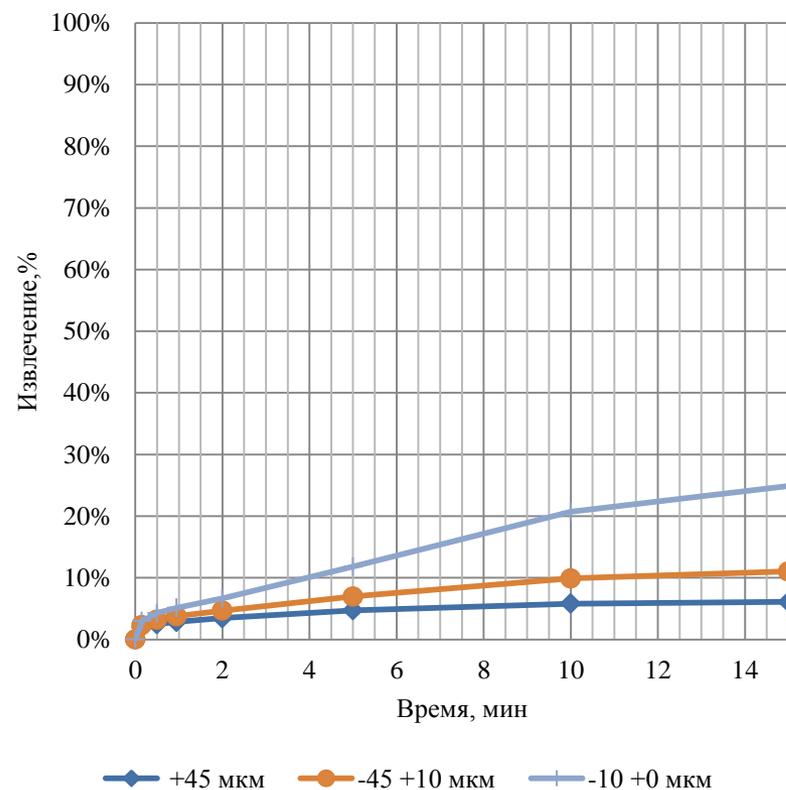


КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ РАСКРЫТЫХ ПОРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ ПО КЛАССАМ ПО КРУПНОСТИ

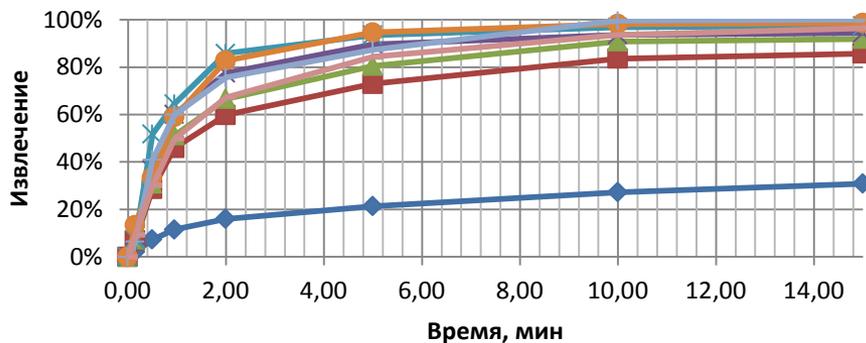
В ОПЕРАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ



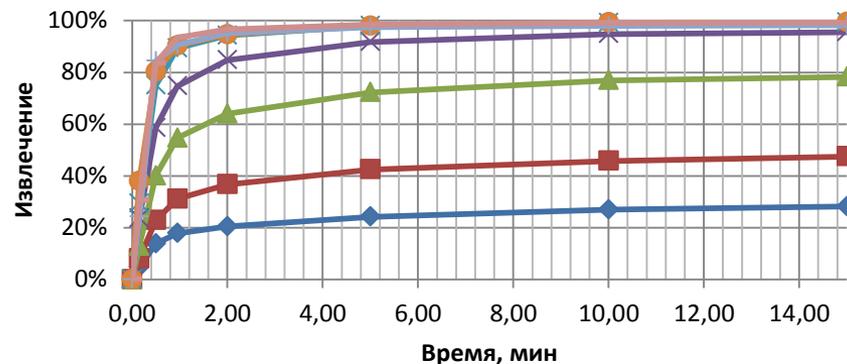
В ОПЕРАЦИИ ЦИНКОВОЙ ФЛОТАЦИИ



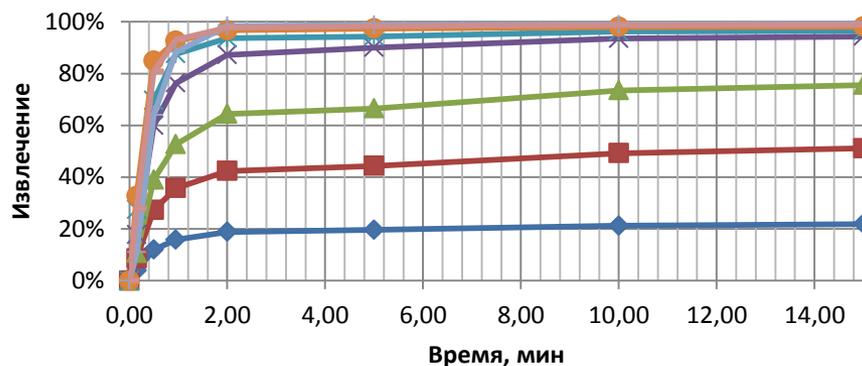
Кинетика галенита Pb-Zn флотация (крупность частиц -10+0мкм)



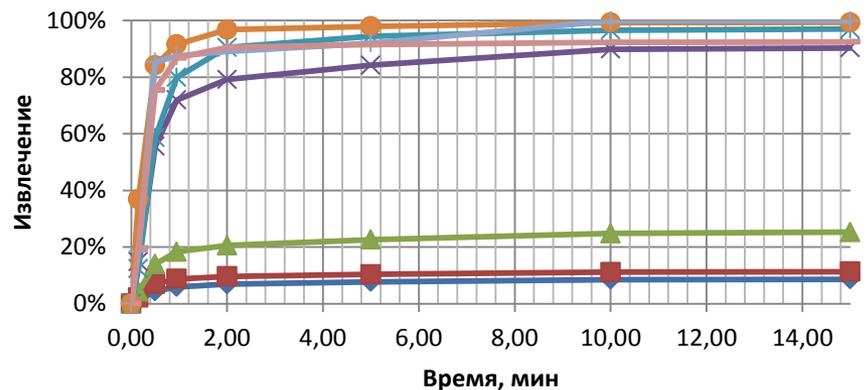
Кинетика галенита Pb-Zn флотация (крупность частиц -20+15мкм)



Кинетика галенита Pb-Zn флотация (крупность частиц -25+20мкм)



Кинетика галенита Pb-Zn флотация (крупность частиц +45мкм)



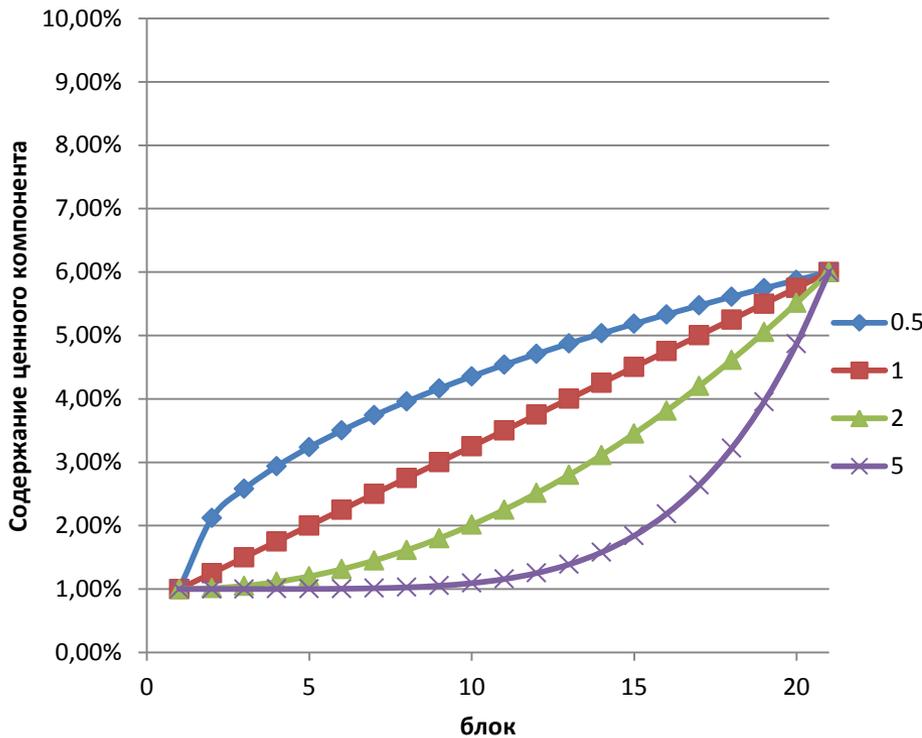
- ◆ 0% (barren)
- 0% (not exposed)
- ▲ 0% < x <= 20%
- ✕ 20% < x <= 40%
- ✱ 40% < x <= 60%
- 60% < x <= 80%
- ⊕ 80% < x < 100%
- 100%

Решение – комбинированные технологии

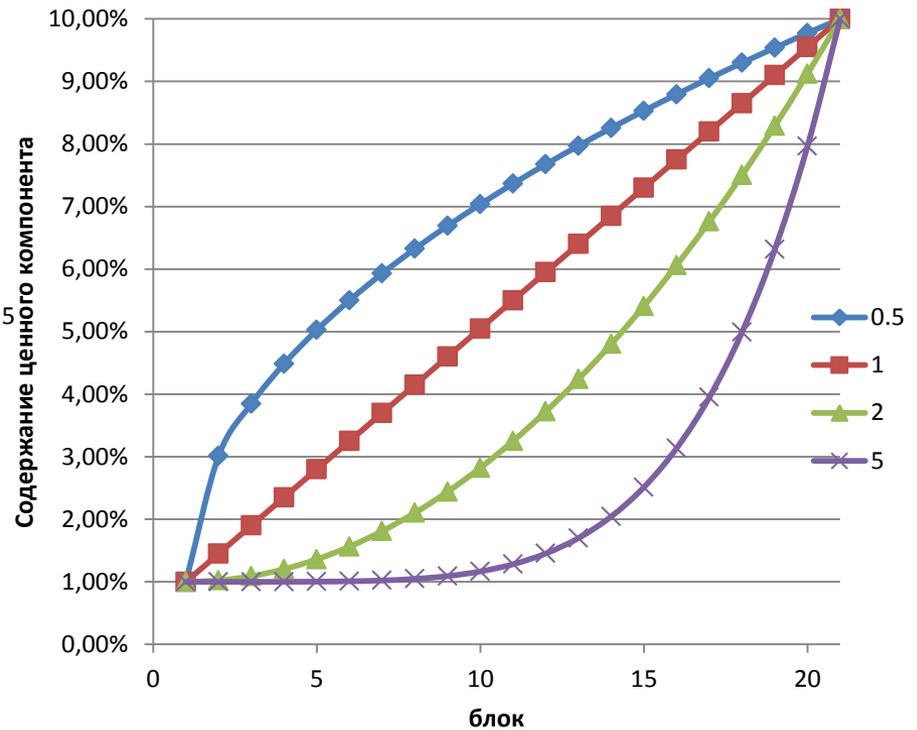


ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ ЦЕННОГО КОМПОНЕНТА ПО 4 ВАРИАНТАМ 2-Х СМОДЕЛИРОВАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ:

Месторождение, с распределением ценного компонента в интервале 1-6%



Месторождение, с распределением ценного компонента в интервале 1-10%



Допустим, что извлечение является функцией содержания ценного компонента в исходной руде.

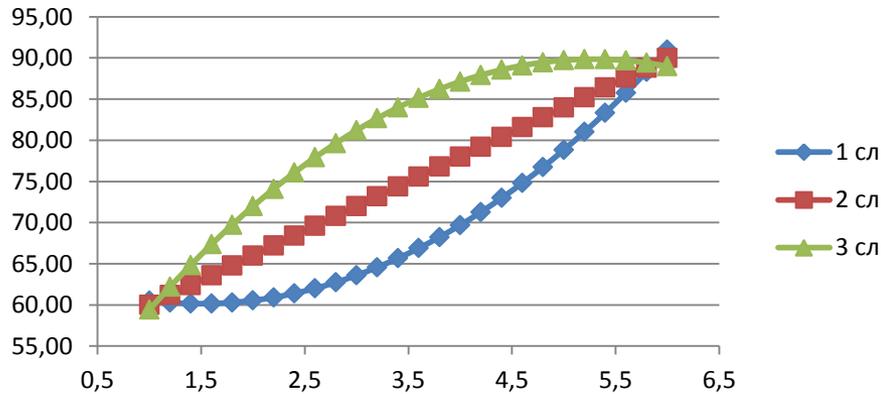
Представим 2 варианта изменения извлечения:

1 вариант – 60% для минимального содержания в руде, 90% для максимального;

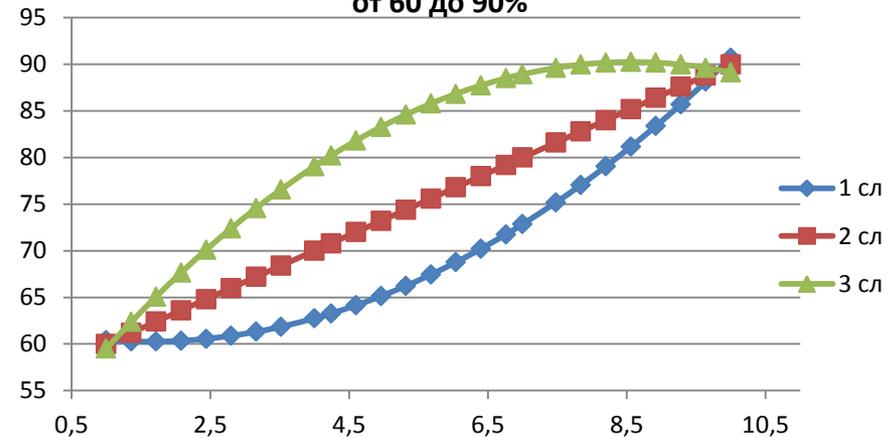
2 вариант – 80% для минимального и 90% для максимального.

Для каждого из вариантов рассмотрим три следующих случая зависимости извлечения от содержания в руде

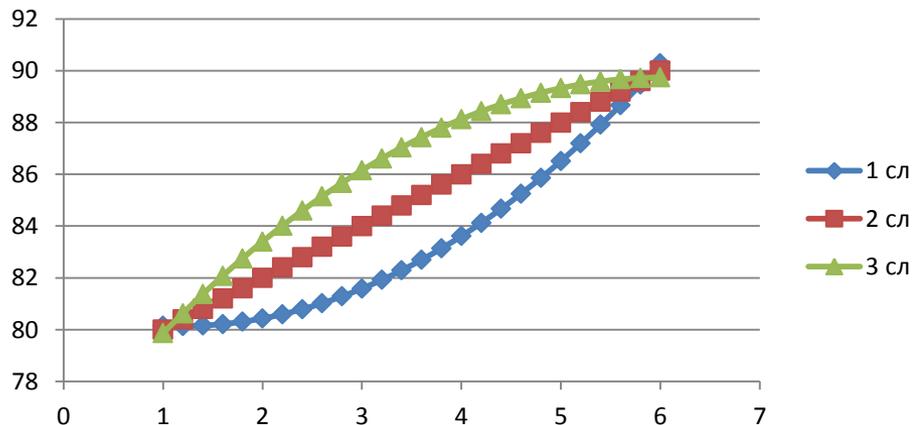
Месторождение (1-6), распределение извлечений от 60 до 90%



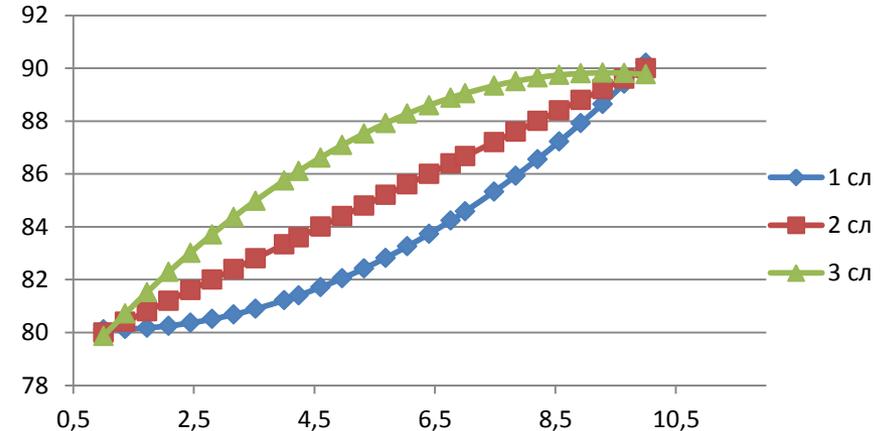
Месторождение (1-10), распределение извлечений от 60 до 90%



Месторождение (1-6), распределение извлечений от 80 до 90%



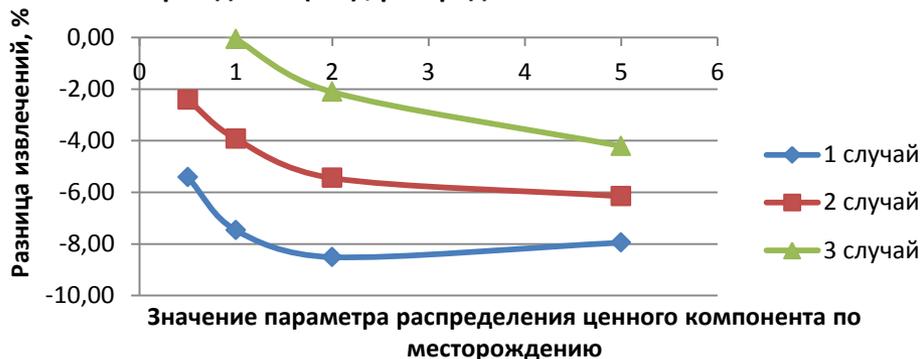
Месторождение (1-10), распределение извлечений от 80 до 90%



- Исходя из этой зависимости найдем значение извлечения для каждого блока. Также найдем значение извлечения для среднего содержания по месторождению. Разница между разными подходами к определению извлечения может достигать до 10%.

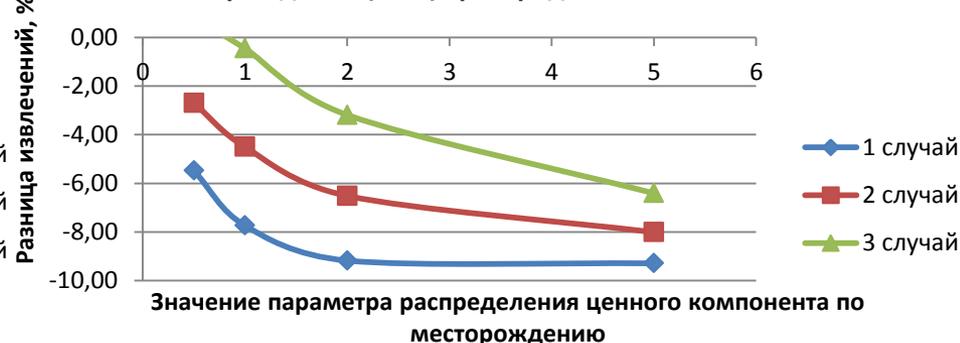
Разница между вариантами определения извлечений по извлекаемому металлу по каждому блоку и средним по месторождению

Месторождение (1-6), распределение извлечений 60-90%



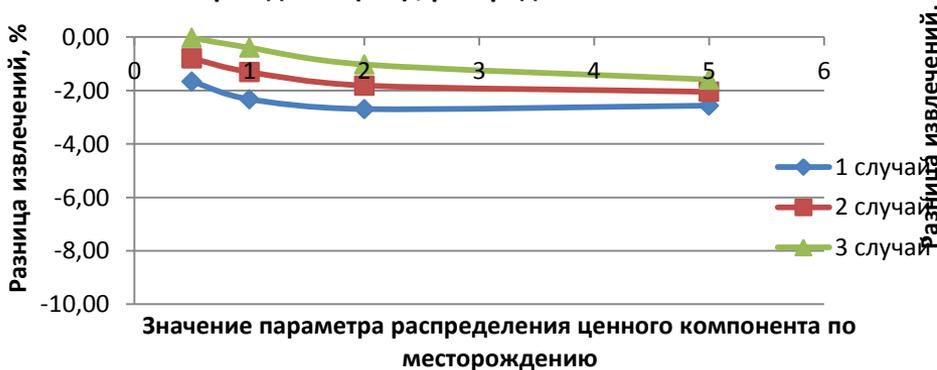
Разница между вариантами определения извлечений по извлекаемому металлу по каждому блоку и средним по месторождению

Месторождение (1-10), распределение извлечений 60-90%



Разница между вариантами определения извлечений по извлекаемому металлу по каждому блоку и средним по месторождению

Месторождение (1-6), распределение извлечений 80-90%



Разница между вариантами определения извлечений по извлекаемому металлу по каждому блоку и средним по месторождению

Месторождение (1-10), распределение извлечений 80-90%

