

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

УДК 622.765

На правах рукописи

Рамазанова Жанна Асылгазыевна

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

Название диссертации	Исследование процесса переработки лежалых хвостов обогатительных фабрик
Направление подготовки	6M073700 – "Обогащение полезных ископаемых"

Научный руководитель,  
канд. техн. наук, доцент  
М.Р. Шаутенов  
" 31 " 05 2019 г.



Рецензент,  
Начальник отдела ИВТ «НАК  
Казатомпром»,  
канд. техн. наук  
Д.К. Кайпбаев  
" 31 " 05 2019 г.

Нормоконтроль,  
Лектор, доктор PhD  
И.Ю. Мотовилов  
" 31 " 05 2019 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой МиОПИ,  
Канд. техн. наук  
М.Б. Барменшинова  
" 31 " 05 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

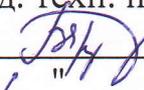
Горно-металлургический институт имени О. Байконурова

Кафедра металлургии и  
обогащения полезных ископаемых

6M073700 - "Обогащение полезных ископаемых"

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой МиОПИ  
канд. техн. наук

 М.Б. Барменшинова  
" 31 " 05 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту *Рамазановой Жанне Асылгазыевне*

Тема: *Исследование процесса переработки лежалых хвостов обогатительных фабрик.*

Утверждена приказом ректора университета № 1597 от "30" октября 2017 г.

Срок сдачи законченной диссертации " 31 " 05 2019 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Лежалые хвосты Жезказганской обогатительной фабрики.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) литературный анализ способов переработки медьсодержащего техногенного сырья;

б) методика исследований;

в) изучение гранулометрического состава лежалых хвостов, распределения меди и серебра по классам крупности и определение их форм нахождения;

г) определение влияния сочетания двух вспенивателей на флотированность хвостов обогатительной фабрики;

д) определение оптимальных технологических параметров флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики участка Боргесай.

Демонстрационный графический материал представить не менее чем на 10 слайдах с результатами исследований.

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитический обзор	15/02/2019	
Основные методы анализа и исследований	15/03/2019	
Экспериментальная часть	15/04/2019	

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования раздела	Консультант, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитический обзор	М.Р. Шаутонов канд.техн. наук, доцент	15.02.2019	
Основные методы анализа и исследований		15.03.2019	
Экспериментальная часть		20.04.2019	
Нормоконтроль	И.Ю. Мотовилов, лектор, доктор PhD	31.05.2019	

Научный руководитель



М.Р. Шаутонов

Задание принял к исполнению обучающийся



Ж.А. Рамазанова

Дата

" 31 " 05 20 19 г.

## ОТЗЫВ

### НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию Рамазановой Жанны Асылгазыевны

6M073700 - Обогащение полезных ископаемых

Тема: «Исследование процесса переработки лежалых хвостов обогатительных фабрик»

Диссертационная работа Рамазановой Ж.А. посвящена вопросу, имеющему актуальное значение - интенсификация технологий обогащения медьсодержащего техногенного сырья. Одним из путей получения медного концентрата является флотационное обогащение сырья с применением сочетания различных реагентов и тонкого измельчения.

Автором проведен анализ способов переработки медьсодержащего сырья за рубежом и в странах СНГ. Исследованы физико-химические свойства лежалых хвостов старого отвала Жезказганской обогатительной фабрики. Новизной диссертационной работы является использование во флотационном процессе сочетания двух пенообразователей Т-90 и МИБК, способствующих повышению технологических показателей обогащения лежалых медьсодержащих хвостов обогатительной фабрики.

В результате проведенных исследований по переработке медьсодержащих хвостов с использованием указанных реагентов был получен флотационный медный промпродукт с содержанием меди 12% при извлечении 57,86%, который согласно технических условиям соответствует марке ППМ8 (промпродукт медный). Данный товарный продукт может быть направлен на гидromеталлургический способ переработки, либо использован в качестве флюса в процессе плавки.

В целом работа по объему, качеству проведенных исследований соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертационным работам, а её автор Рамазанова Ж.А. заслуживает присуждения ученой степени магистра по специальности 6M073700 – «Обогащение полезных ископаемых».

Научный руководитель  
Канд. техн. наук, профессор

 М.Р. Шаутонов

«31» 05 2019 г

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Рамазанова Жанна Асылгазыевна

**Название:** Исследование процесса переработки лежалых хвостов обогатительных фабрик

**Координатор:** Мэлс Шаутинов

**Коэффициент подобия 1:** 14,9

**Коэффициент подобия 2:** 4,3

**Тревога:** 32

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Выполненная диссертационная работа  
наблюдается специальность ВМ073700 - Обогащение  
полезных ископаемых является самостоятельной  
выполненной работой и не обладает признаками  
плагиата. Допускается к защите.

М.Р. Шаутинь



Дата 30.05.2019г.

Подпись Научного руководителя

Коэффициент подобия 1.149

Коэффициент подобия 1.149

Коэффициент подобия 1.149

Тревога: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствию самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

## Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Рамазанова Жанна Асылгазыевна

**Название:** Исследование процесса переработки лежалых хвостов обогатительных фабрик

**Координатор:** Мэлс Шаутенов

**Коэффициент подобия 1:** 14,9

**Коэффициент подобия 2:** 4,3

**Тревога:** 32

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

31.05.2019

Дата

Барменщиков М.Б. 

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Допуск к защите

31.05.2019

Барменникова М.Б.

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## АНДАТПА

Диссертациялық жұмыс тапсырмадан, кіріспеден, 5 тараудан, қорытындыдан, әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертациялық жұмыс 56 бетте мазмұндалынып, 12 сурет, 10 кестемен қамтылған.

Жұмыстың мақсаты:

– Жатып қалған мыс құрамды флотациялық қалдықтардан флотациялық байыту негізінде екіралық мыс өнімін алу.

Зерттеу негізінде бастапқы қалдықтардың гранулометриялық құрамы және ірілік кластардарғы мыстың және күмістің таралуы мен олардың тұрсіпаттары қарастырылды. Сондай-ақ қалдықтардан алынған технологиялық сынаманы зерттеуге дайындау жұмыстары жүргізілді.

Қалдықтарды флотациялық процесімен өндеуде, алынған екі түрлі көбіктендергіш реагенттер тіркестерінің әсерлері анықталынды. Қалдықтарды байытуда қолданылатын флотациялық байыту процесінің оңтайлы технологиялық параметрлері анықталынды.

Бөргесай мыс қалдық қоймасынан алынған мыс құрамды жатып қалған қалдықтарды лабораториялық зерттеумен анықталғаны. Бастапқы қалдықтарды ұнтақтаумен пайыздық үлесі 90-95% құрайтын ірілігі -0,071 мм тен классы алынды. Қабылданған флотациялық байыту сұлбасы келесі операциялардан тұрады: негізгі, бақылау, және 4 тазалаудан. Алынған мыстың кара концентратындағы мыстың үлесі 12,0 % мыстың концентратқа өту үлесі 57,86 %. Мыстың қалдыққа шығу үлесі 30,84 %, ал ондағы мыстың үлесі 0,09 % құрайды.

## АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа состоит из задания, введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Диссертационная работа изложена на 56 страницах, содержит 12 рисунков, 10 таблиц.

Целью работы является:

– Разработка технологии получения медного промпродукта из лежалых медьсодержащих хвостов обогатительной фабрики флотационным методом.

Были проведены исследования по определению гранулометрического состава лежалых хвостов, распределения меди и серебра по классам крупности и определение их форм нахождения, а также подготовка пробы лежалых хвостов обогатительной фабрики к технологическим исследованиям. Определено влияние сочетания двух вспенивателей на флотиремость хвостов обогатительной фабрики. Установлены оптимальные параметры флотационного метода обогащения хвостов обогатительной фабрики.

Лабораторные исследования по флотации медьсодержащих хвостов Боргесай показали, что при крупности измельчения исходных хвостов до 90-95 % класса крупности  $-0,071$  мм по схеме, включающей основную, контрольную и четыре перечистки концентрата основной и контрольной флотации возможно получение черного медного концентрата с содержанием меди 12,0 % при извлечении 57,86 %. Потери меди в хвостах составляют 30,84 % при содержании 0,09 %

## ABSTRACT

The thesis consists of task, introduction, 5 chapters, conclusion, reference list. The thesis takes 56 pages, contains of 12 pictures and 10 tables.

The purpose of work is:

– Development of technology for obtaining copper intermediate product from old copper-containing tailings of the concentrating factory using flotation method.

Studies have been carried out to determine the granulometric composition of old tailings, the distribution of copper and silver by size class and the determination of their forms of location, as well as to define preparation of samples of old tailings of concentrating factory for technological research. The influence of a combination of two frothing agents on flotation of the tailings of a concentrating factory. The optimal parameters of the flotation method for concentrating the tailings of the concentrating factory was determined.

Laboratory studies on the flotation of copper-containing Borgesai tails showed that with a grinding size of the source tailings up to 90-95% of a -0.071 mm size class according to a scheme including basic, control and four cleanings of the concentrate of the main and control flotation, it is possible to obtain a rough copper concentrate with copper content of 12, 0% with 57.86% recovery. Copper losses in tailings are 30.84% with a content of 0.09%.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Литературный обзор переработки медьсодержащих техногенных георесурсов	11
2	Метод исследований	23
2.1	Минералогический анализ	23
2.2	Ситовый анализ руды	23
2.3	Атомно-эмиссионный спектральный анализ	23
2.4	Рентгенофазовый анализ	24
2.5	Флотационный метод обогащения	24
3	Изучение гранулометрического состава лежалых хвостов, распределения меди и серебра по классам крупности и определение их форм нахождения	28
4	Исследование процесса флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогачительной фабрики участка Боргесай	37
5	Определение оптимальных технологических параметров флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогачительной фабрики участка Боргесай	45
	Заключение	50
	Список использованных источников	52
	Приложение А	56

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается закономерность снижения содержания металлов в рудах месторождений. С увеличением производства металлов появилась потребность в некоторых технических мероприятиях, для того чтобы уменьшить потери руды в недрах и в процессе добычи, а также повысить показатели извлечения металлов. В связи с этим становится целесообразным перерабатывать труднообогатимые руды, отвальные хвосты и отходы металлургического производства.

Техногенные отходы неблагоприятно влияют на окружающую среду, ухудшая экологическую ситуацию. В зарубежных странах практикуется предотвращение их образования в процессе производства, в ином случае их утилизируют, либо если это считается экономически выгодным имеет место быть переработка техногенных отходов.

Вовлечение в разработку запасов хвостохранилищ облегчается тем, что при этом не нужны вскрышные и буровзрывные работы. Раздробленный материал подготовлен для извлечения металлов современными методами, к тому же исчезает проблема загрязнения окружающей среды.

Техногенные месторождения по содержанию полезного компонента в руде являются более бедными, чем изначальные, но при этом они обладают следующими преимуществами:

1 Необходимое сырье извлечено из недр одним из способов горной добычи и доставлено на участок переработки;

2 Основная составляющая рудной массы уже измельчена до требуемой крупности материала;

3 Сырье складировано в определенном месте.

Стоимость металлов последние 30 лет неуклонно растет на 5-10% в год. Высокие цены и не убывающий спрос сделали извлечение металлов из техногенного минерального сырья экономически целесообразным. Интенсивное развитие техники и технологии обогащения создало объективную необходимость усовершенствования эффективных технологий освоения техногенных георесурсов.

Вопрос разработки эффективной технологии обогащения медьсодержащих отвальных хвостов на основе использования усовершенствованного флотационного оборудования и сочетания реагентов, способствующих повышению технологических показателей становится все актуальнее и требует решения. Вовлечение в переработку этих отходов позволит не только получить дополнительную продукцию, но и снизить экологический ущерб окружающей среде.

Данные аргументы свидетельствуют о важности и актуальности проблемы переработки техногенного минерального сырья.

*Новизна работы* заключается в изучении физико-химических свойств, флотиремости лежалых медьсодержащих хвостов участка Боргесай с

использованием сочетания двух вспенивателей и проверке возможности получения медного промпродукта.

*Цели и задачи исследования*

Цель исследований – получение медного промпродукта из лежалых медьсодержащих хвостов обогатительной фабрики флотационным методом.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи работ:

- анализ способов переработки медьсодержащего техногенного сырья;
- исследование форм нахождения меди в лежалых хвостах участка Боргесай и подготовка пробы хвостов к технологическим исследованиям;
- определение влияния сочетания двух вспенивателей на флотируемость лежалых хвостов участка Боргесай;
- определение оптимальных технологических параметров флотационного обогащения лежалых медьсодержащих хвостов обогатительной фабрики.

## **1 Литературный обзор переработки медьсодержащих техногенных георесурсов**

Снижение запасов минерального сырья требует разведки новых месторождений руд цветных, черных, благородных и редких металлов, в том числе и техногенных. [1-3].

Как известно, скопления техногенных минеральных ресурсов значительно ухудшают экологическую обстановку в регионах. В связи с этим установилась современная идеология, которая в первую очередь предупреждает потенциальные экологические нарушения, а не нейтрализует их последствия. Подобный метод к решению данной проблемы является инновационным и используется во многих развитых странах. Эта новая стратегия, используемая экологическими службами производств, получила известность и признание в Европе как Best Available Technology (Bat). [4].

Экономика Казахстана в основном определяется обеспеченностью минеральными ресурсами, в частности черными и цветными металлами, эффективностью их использования, где на первый план выступают степень извлечения ценных компонентов из сырья, правильное ведение горных работ, реальная оценка запасов, организация производства и совершенствование технологий 3-5-го переделов. Несмотря на невысокую обеспеченность разведанными запасами цветных металлов, Казахстан продолжает оставаться одним из перспективных регионов мира по выявлению новых месторождений. В последние годы освоен ряд месторождений с рудами, в которых содержание полезных компонентов находится на мировом уровне (Малеевское, Артемьевское на востоке страны, Родниковское в Прибалхашье, Шалкия в южном регионе республики, Шаймерден, Сырыбай, Кумдыкольское в Северном Казахстане) [3].

В общей сложности 74 химических элемента из известных извлекается в цветной металлургии. Причем каждый элемент извлекают из сырья по специальной технологической схеме. Особой сложностью отличаются процессы, применяемые для извлечения редких металлов и редкоземельных элементов. К таким процессам относят хлорную металлургию, процессы сорбции и экстракции, металлотермическое и водородное восстановление, электронно-лучевые процессы, кристалло-физическую очистку и наращивание кристаллов. Широко применяют также электротермию, вакуумные процессы и процессы при высоких давлении и температуре.

В связи с тенденцией ухудшения геологических условий разрабатываемых месторождений, а также с использованием традиционных технологий при переработке руды и обогащении наметилась тенденция постепенного снижения содержания металлов в компонентах металлургической шихты. За последние 20 лет содержание цветных металлов в рудах снизилось в 1,5-1,6 раза, к тому же доля труднообогатимых руд возросла с 15 до 45% [3]. Поднять в таких условиях эффективность

предприятий цветной металлургии сложно, требуются скоординированные действия науки, производства и инвесторов.

В Казахстане, практически обеспеченном собственным минеральным сырьем, трудности проявляются в снижении качества сырья и степени извлечения металлов сложившимися технологиями, возрастании отходов и замедлении темпов роста производительности труда.

В структуре промышленного производства страны на долю горно-металлургического комплекса в объеме ВВП приходится 23,7%. Отрасль сложилась на базе собственных месторождений, сравнительно дешевых источников энергии; значительных запасов свинца, хрома, железной руды, меди, цинка, боксита и т.д. Более 40% объема обрабатывающей промышленности приходилось на металлургическую продукцию и производство готовых металлических изделий [3].

Интенсивная эксплуатация месторождений в основных горно-добывающих районах страны привела к значительному качественному ухудшению и сокращению разведанных запасов медных руд. Значительно истощен ближайший резерв предварительно оцененных запасов. Эксплуатация крупных медных месторождений привела к тому, что предприятия цветной металлургии испытывают дефицит запасов медьсодержащих руд, пригодных для экономичного способа разработки.

Расширение минерально-сырьевой базы возможно за счет вовлечения новых разведанных месторождений и техногенных георесурсов.

В процессе развития горнодобывающей и металлургической промышленности Казахстана в настоящее время образовалось большое количество шламов, шлаков и хвостов обогатительных фабрик, содержащих существенное количество ценных компонентов, что требует создания технологии их переработки [1-2].

Первый президент Республики Казахстан Нурсултан Абишевич Назарбаев, выступая на первом международном конгрессе по минеральным ресурсам и металлургии, отметил, что в стране сейчас накопилось более 30 миллиардов тонн вторичных ресурсов, в том числе 20 миллиардов - техногенных отходов горно-металлургического комплекса, их необходимо рассматривать как самостоятельную сырьевую базу металлургии [3].

К настоящему времени накопилось более 22 млрд. тонн промышленных отходов, в их числе 230 миллионов тонн радиоактивных, при поступлении около 1 млрд. тонн в год. Годовой объем образования токсичных отходов в республике составил 84,4 млн. тонн, из них 63% являются отходами цветной металлургии. Они распределены преимущественно в Карагандинской, составляют 29,4%, Восточно-Казахстанской – 25,7%, Костанайской – 17% и Павлодарской – 14,6% областях. По расчетам, группы парламентариев РК, разработавших проект закона "Об отходах" ежегодное количество образуемых отходов в Казахстане составляет около 60 тонн на человека в год (в развитых странах - до 15 тонн). Промышленные твердые отходы обычно имеют однородный

морфологический состав, постоянные и компактные источники образования, а именно они образуются в результате производственных циклов.

Классификацию отходов горно-обогатительных предприятий можно представить следующим образом: место образования (т. е. отходы добычи или отходы обогащения); место распределения; степень изученности; особенности химического состава и физико-механических свойств; возможность технического использования; основные направления возможного использования. Ресурсный потенциал отходов может быть определен местом их образования, наличием или отсутствием в них ценных в экономическом плане компонентов и возможностью их технического использования.

Всем ясно, что утилизация отходов – сложная задача, связанная с решением многих проблем, требующих комплексного подхода и взаимодействия разных специалистов горной и смежных ей отраслей промышленности. Во многих горнопромышленных регионах этим вопросам уделяется серьезное внимание [7-8]. В связи со специфичностью свойств отходов, которые проявляют себя в процессах обогащения, становится необходимым оценивать ресурсный потенциал отдельно взятого техногенного месторождения и разрабатывать в соответствии с этим для каждого объекта свои определенные технологические решения. Все это, безусловно, создает ряд дополнительных препятствий на пути вовлечения отходов в производство. Также имеют место быть административные барьеры, которые устанавливает законодательство. Тем не менее основным критерием в выборе поиска метода переработки техногенного сырья является экономический. Только в случае если прогнозируемые доходы от использования таких ресурсов превышают затраты на разработку и внедрение технологических решений, при отсутствии потенциальных экологических проблем, можно ожидать масштабного процесса рециклинга отходов. В настоящее время на горно-обогатительных и металлургических предприятиях основными проблемами, непосредственно связанными с отходами горных предприятий, являются следующие:

- постоянное увеличение площадей отвалов пустой породы, которые способствуют нарушению биосферных процессов, в том числе ускорению метаморфических изменений минералов ценных компонентов;
- значительные объемы старогодних хвостохранилищ (лежалых хвостов), в которых материал с содержанием ценных компонентов, сопоставимым с содержанием их в бедных рудах, вовлекаемых сегодня в переработку. Обогатительные фабрики за длительный период отработки определенных месторождений могут накапливать весомые объемы хвостохранилищ. При этом пространственно ценный компонент в объеме хвостохранилищ носит неупорядоченный характер;
- появление и накопление шламов сооружений физико-химической очистки и станций нейтрализации рудничных вод;

- образование тонкодисперсных хвостов переработки техногенных отходов;
- необходимость обогащения техногенных отходов, таких как металлургические шлаки и пыли.

*Зарубежный опыт освоения труднообогатимых природных и техногенных медьсодержащих георесурсов* Тем мировая практика переработки отходов производства получила свое развитие в 60-е годы прошлого столетия. Уровень переработки техногенного сырья за рубежом достиг 85–90% (США, Зап. Европа). Этому способствовали активная деятельность службы охраны окружающей среды, высокая конъюнктура металла, высокая стоимость занятых земель и возникающий дефицит минерального сырья.

В развитых странах мира ведется практика переработки геосырья как крупными предприятиями, так и мелкими независимыми заводами, что обеспечивает до 80% ВВП конечной высокотехнологичной продукцией. Примером может выступить предприятие ЮАР, перерабатывающее 18 млн т отвальных хвостов золотодобычи в год, а также Испания- 2 млн т золотосодержащих хвостов. С применением способа кучного выщелачивания золота из отвалов и бедных руд в США увеличили производство меди в несколько раз при незначительных затратах в сравнении с затратами на обогащение руд [10].

В Огайо (штат Мичиган) широкое распространение получило кучное выщелачивание хвостов обогащения после предварительного окомкования [11]. Разработано и внедрено в производство получение прочных окатышей, устойчивых в щелочных водных средах. Применение подобных схем окомкования к сульфидным медно - цинковым хвостам не изучено, а их кучное выщелачивание в тонкодисперсном состоянии сдерживается низкими коэффициентами фильтрации жидкости через массив [12]. В штате Мичиган (США) из хвостов обогащения, содержащих 0,3 % меди, методом чанового выщелачивания достигнуто извлечение меди из руды 60 %. При этом хвосты обогащения предварительно доизмельчаются и подвергаются выщелачиванию при интенсивном перемешивании, отношение Ж:Т = 2:1 [13].

В 1971 году для доработки законтурных запасов карьера ПВ было применено на руднике "Биг Майк" (штат Невада). В дне и бортах карьера остались около 475 тыс. т смешанных руд с содержанием меди около 2 %, представленных, в основном, халькозином. Подготовка руды к выщелачиванию заключалась в дроблении ее массовым взрывом (скважины бурились в дне и бортах карьера). Было раздроблено 600 тыс. т горной массы. Размер куска достигал 230 мм. Использовались водные растворы серной кислоты с рН=1,5-2. Продуктивные растворы дренировали в основание карьера и оттуда откачивались по скважинам. Орошение осуществлялось 1 раз в неделю. Медь из растворов извлекали на цементационной установке. За все время работы участка подземного

выщелачивания было получено 7267,5 т меди, себестоимость 1 кг меди составила 31,5 цента, что в несколько раз дешевле меди получаемой традиционным способом [14].

В Канаде [15], из отходов медно - рудных предприятий, содержащих 0,45 % меди, методом кучного выщелачивания по схеме «кислотное выщелачивание - цементация», достигается извлечение меди из руды 45 % при переработке 600 т хвостов в месяц.

Ряд европейских компаний (Германия, Франция, Англия) перерабатывают привозное техногенное сырье. В 70-е годы за счет вторичной пирометаллургической переработки отвальные оловосодержащие шлаки Таиланда, Малайзии, Индонезии и других стран были переработаны. В Китае в процессе переработки шлаков черной металлургии получают ванадиевую продукцию, а в (США, Англия, ЮАР) — Cu, Zn, Au, Ag, Pb, Sn. В странах дальнего зарубежья (США, Китай и др.) показана эффективность доизвлечения угля из отходов его обогащения. Примером может служить практика Франции, которая перерабатывает отходы угольного бассейна, накопленные за 250 лет и было получено 5,5 млн т товарного угля. В Китае отходы угледобычи применяют на теплоэнергетических установках в качестве энергоносителя.

Значительные объемы накопленных хвостов обогащения создают серьезные экономические и экологические проблемы в горнопромышленных районах. В России особенно остро эти проблемы стоят на Урале, т.к там сосредоточена половина месторождений меди и треть месторождений цинка и соответственно образовалось множество техногенно-минеральных объектов. Для региона наиболее характерны пиритные хвосты, отличающиеся повышенным содержанием металлов и серы. По минеральному составу большинство хвостохранилищ сходно в той части, которая касается минеральных составляющих. Основные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом и сфалеритом, нерудные - кварцем, серицитом, кальцитом. Содержание меди в хвостах колеблется от 0,5% на Бурибаевском

РУ и ЗАО "Ормете" до 0,08% на Турьинской и Пышминской фабриках, цинка - от 1,8% на "Ормете" до 0,01% на Турьинской фабрике [21-23].

На ведущих предприятиях по обогащению медьсодержащего минерального сырья объемы накопленных флотационных хвостов в уральском регионе превышают 200 млн т, на Урупском ГОКе в Ставрополье - 10 млн т [4 – 13]. Только в Свердловской области накоплено свыше 96 млн т хвостов обогащения медно-цинковых руд, наибольшее количество которых - 39 млн. т - в хвостохранилище обогатительной фабрики Кировградского МПК/29 млн т на фабрике СУМЗа, 25 млн т на фабрике Красноуральского МПК [24-25].

Метод кучного выщелачивания отходов обогащения рудного сырья не получил широкого распространения на российских предприятиях. В России с 1874 по 1934 г. На Кедабекском руднике (Кавказ) КВ и цементацией меди из

рудничных растворов добыто более 14 тыс.т меди [16]. В 1939-1941 гг. на Урале проведен ряд испытаний КВ и ПВ меди из пышминских, белореченских и новолевинских руд. В 1954 проведены испытания ПВ на Гумешевском месторождении. В 1959-1960 гг. на Дегтярском руднике получено ПВ 1074 т меди. Обработке подвергалась нижняя выклинка месторождения с запасами меди около 2300 т. Отработанный участок орошали водой через пробуренные с поверхности скважины и через трещины зоны обрушения. Продолжительность орошения для выщелачивания составляла 15 дней. Среднее содержание меди в рудничных водах изменилось с 0,3 до 0,8 г/л. Среднее содержание меди в продукционных растворах составило 6 г/л [17].

В 1964 г. на Дегтярском руднике была создана опытно-промышленная установка ПВ с бактериальной регенерацией растворов. Затем, начиная с 1971 года, проведены испытания ПВ на блоках, раздробленных буровзрывными работами целиков медно-колчеданной руды, и на горных потерях заиленного участка. Извлечение меди из раздробленных участков составило 6 % в год [18].

В 1971 году начались работы по освоению ПВ руд, оставшихся после отработки Блявинского месторождения. Медные минералы представлены халькопиритом и ковелином. Подготовка к выщелачиванию включала обустройство рудного массива скважинами с поверхности глубиной до 95 м. Для увеличения извлечения меди применялся метод иммерсионного выщелачивания (затопления), а для интенсификации процесса - аэрация растворов орошения [19]. На Блявинском месторождении из подземных объектов выщелачивания медных руд получены сотни тонн меди. Однако, неизученность процесса, сырьевой базы и экстенсивный путь развития промышленности в целом послужили причиной того, что ПВ не нашло промышленного применения.

Институтом Унипромедь совместно со специалистами Башкирского медно-серного комбината [20] разработана технология переработки отвальных сульфидных хвостов обогатительных фабрик. Предложено биоокисление хвостов во внешних отвалах, отсыпанных на специально подготовленных площадках. Хвосты насыпаются в кучи высотой 1,2 м, что обеспечивает их закисление за один теплый сезон. После завершения закисления хвостов производится их промывка рабочим раствором, который в дальнейшем направляется на извлечение меди и цинка. Кек выщелачивания предложено подвергать гравитационному обогащению на центробежных сепараторах с целью получения золотосодержащего продукта. Недостатком этой технологии являются большие капитальные затраты, связанные со значительным отчуждением земель для отсыпки маломощных отвалов и подготовку их оснований.

Анализ зарубежного опыта показал, что для эффективного освоения труднообогатимых природных и техногенных месторождений целесообразно применение комбинированных методов добычи и переработки полезного

ископаемого. Однако до настоящего времени не решена проблема оптимального сочетания физико-химических методов разработки и создания эффективного экологически безопасного растворителя.

В России в Республике Бурятия на Джидинской вольфраммолибденовой фабрике проведено предобогащение на центробежных сепараторах с целью выделения отвальных хвостов лежалых хвостов [32]. Гравитационный концентрат перерабатывался по гидрометаллургическому способу, который позволил получить дополнительную продукцию.

Характерно закисление и увеличение предельно-допустимой концентрации металлов в сточных водах предприятий Южного Урала [33].

Показательные результаты получены на Урале при переработке шлаков медеплавильных производств.

Известно, что в шлаки также оцениваются, как техногенное сырье, которое пригодно вторичного обогащения.

Обогащение шлаков всегда вызывало широкий интерес с точки зрения извлечения металлов, потому что сокращение минеральных запасов и проявляемое в последнее время особое внимание к охране окружающей среды явились толчком к исследованию проблемы утилизации шлака металлургического производства [38].

Исследования в области дробления и сепарации минерального сырья с целью их применения в дальнейшем для извлечения металлов из шлаков проводились в течение продолжительного времени в различных странах. Были разработаны различные способы извлечения металлов из отходов сталелитейного производства, шлаков от производства нержавеющей стали, ферросплавов, меди, алюминия и других металлургических шлаков.

Для извлечения металлов использовали физические свойства: твердость, плотность, электрические и магнитные или же поверхностные физико-химические. Применяли обычные способы обогащения: избирательное дробление и грохочение, измельчение, гравитационные способы, флотация, магнитное обогащение в сильных и слабых полях и до некоторой степени электрическое обогащение.

Выбор способа для подготовки шлаков зависит от их свойств и технологии обеднения или переработки. Если для обезмеживания шлаков применяется флотация, совместно с рудой, используется следующая технология: шлак перемещают на шлакоотвал, выливается из чаши и после охлаждения естественным путем дробится, измельчается и флотируется. В другом случае, если обезмеживание шлаков проводят в отдельной секции, то для получения хорошо раскристаллизованного шлака с крупными сульфидными включениями применяют медленное охлаждение в прудках, траншеях, теплоизолированных ковшах [27, 39-40].

Разработан способ, предполагающий комбинированную гравитационно-флотационную технологию с фракционированием хвостов обогащения для Гайской ОФ, которая предусматривает использование

короткокonusных трехпродуктовых гидроциклонов и дофлотацию с получением: кварцевого продукта для производства строительных материалов; тонкодисперсного компонента закладки выработанного горного пространства с содержанием класса -74 мкм 85-90%; флюса для металлургии с содержанием серы до 1-1,5%; кондиционного пиритного концентрата; медно-цинкового продукта, содержащего 1-2% меди и 3-5% цинка, который может быть переработан в отдельном цикле пиро- или гидрOMETаллургическими методами с извлечением всех попутных компонентов [29].

Для переработки лежалых (15-20 лет) материалов Пышминской обогатительной фабрики, которые ранее использовались в небольших количествах на строительные нужды, разработана схема обогащения [30], предусматривающая флотосегрегацию сростков и тонких шламов меди с получением отвальных хвостов и медного концентрата с концентрацией меди в нем 4,5-5,5% при извлечении 94-98%. Концентрат после доизмельчения и двойной перечистки содержит 15-16,5% меди при извлечении 85-95%, а также ряд редких элементов. Отвальные хвосты пригодны для строительных работ, либо могут стать сырьем для получения цемента. Флотация ведется в специальных машинах для флотации крупных и тонких классов и специальным реагентом типа АИФ.

Подготовлено проектное решение для схемы переработки и полной утилизации материала старого хвостохранилища Бурибаевской обогатительной фабрики [31]. В хвостохранилище накоплено 3962,4 тыс. т материала со средним содержанием меди 0,54%, цинка 0,17%, серы 28,18%, золота 1,2 г/т, серебра 10,3 г/т, селена, теллура и германия 0,0041%, 0,0028% и 0,00016 % соответственно. В основу технологической схемы положен метод коллективно-селективной флотации с получением медного концентрата с содержанием 13% меди, пиритного концентрата марки КСФ-3 с 39,13% серы и попутного продукта в виде крупнозернистого и мелкозернистого песков, пригодных для использования в строительстве.

Учёные ОАО «Уралмеханобр» разработали технологию переработки лежалых хвостов обогатительной фабрики Рубцовского ГОКа. Её эффективность заключается в повышении суммарного извлечения металлов (в среднем на 7-10%). В настоящее время на её хвостохранилище скопилось большое количество хвостов, которые содержат значительное количество меди, свинца и цинка. В результате проведенных исследований разработана бесцианидная технология обогащения лежалых хвостов с получением следующих кондиционных концентратов: медного - с содержанием меди 21,80% (при извлечении меди 79,85 %), цинкового - с содержанием цинка 52,49% (при извлечении цинка 64, 27%).

Производственный опыт и результаты научно-исследовательских работ показали недостаточную эффективность переработки пиритсодержащих отвальных хвостов обогащения. В то же время, как за рубежом, так и в нашей стране имеются примеры использования флотационных и гравитационных

методов, комбинированных гравитационно-флотационных и флотационно-гидрометаллургических технологий, методов кучного и чанового выщелачивания, в том числе и бактериального для переработки лежалых и текущих медьсодержащих хвостов обогащения.

Разработаны флотационные технологии получения медно-цинкового и пиритного концентратов из хвостов обогащения СУМЗа, медного, цинкового, пиритного и кварцевого концентратов из хвостов Карабашской фабрики, медного (12,3% меди при извлечении 48,8%), цинкового (47% цинка при извлечении 29,3% и пиритного (44,4% серы при извлечении 71,4%) из хвостов Красноуральской фабрики [26].

Исследованиями института "Гинцветмет" показана возможность применения метода флотации с получением из хвостов Урупской ОФ пиритного концентрата, медно-цинкового промпродукта для последующей доводки и гидрометаллургической переработки, кварцевого продукта, содержащего 1,5-3% серы, который может быть использован в строительстве, для закладки горных выработок, в качестве флюса для металлургии [32].

Основным направлением эффективной переработки техногенного сырья являются комбинированные технологии, основанные на сочетании процессов обогащения и химико-металлургических методов. Комбинированные технологии позволяют вовлечь в производство бедные медно-цинковые руды более сложного состава, отвалы забалансовых руд и накопленные хвосты обогащения [34]. Такие разработки выполнены в институте "Гинцветмет", в Казахском институте минерального сырья и институте "Унипромедь", МИСиС. Эти технологии испытаны в лабораторных и опытно-промышленных условиях и для ряда типов минерального сырья частично реализованы в промышленном масштабе.

Для сульфидно-окисленных медно-цинковых руд Урала и Казахстана Гинцветмет и МИСиС разработали комбинированные технологии, включающие получение на стадии обогащения богатых концентратов и сульфидных продуктов. Для продуктов с содержанием меди 1-2% и цинка 3-6%, выделяемых в циклах доводки пиритного и цинкового концентратов и обеднения хвостов разработана технология хлоридовозгонного обжига с последующей гидрохимической переработкой хлоридов цветных и благородных металлов [32]. Технология хлоридовозгонного обжига отработана с высокими показателями в Гинцветмете для руд Учалинского, Гайского месторождений. Возможность применения этой технологии продемонстрирована на бедных сульфидных продуктах, получаемых при глубоком обеднении хвостов обогащения (Гайская, Средне-Уральская, Сибайская, Учалинская фабрики), а также при обезжелезнении и обезмеживании цинкового концентрата (Учалинская и Сибайская фабрики). Бедные продукты доводки также могут быть переработаны по технологии выщелачивания с получением раствора цинкового купороса и медно-железистого кека, или по технологии бактериального выщелачивания [34].

Для богатого продукта с содержанием меди 3-5% и цинка 12-25% разработана технология автоклавного кислотного выщелачивания цинка с последующим осаждением цинка в виде гидроксида цинка по схеме постадийной нейтрализации сульфатных растворов или электролизом и переработкой медного кека гидрометаллургическими методами или в автогенном процессе. Медно-пиритный кек можно перефлотировать с получением богатого медного концентрата и пиритного продукта с последующим цианированием для извлечения золота [35].

Автоклавные методы нашли широкое применение в зарубежной промышленной практике взамен окислительного обжига и сернокислотного выщелачивания, которые связаны с выбросом  $SO_2$  в атмосферу.

Гидрометаллургические методы внедрены или находятся в стадии промышленного освоения для переработки хвостов обогащения, шламов станции нейтрализации рудничных вод шахты «Центральная», отвальных хвостов Учалинской фабрики для извлечения золота после импульсного вскрытия и водной фазы хвостов для извлечения меди, цинка, железа и получения серной кислоты [36].

С 1980 года на Урале активизировались работы по выявлению возможности биологического выщелачивания цветных и благородных металлов из пиритных хвостов обогащения [26].

Предложена технология биоокисления пиритсодержащих хвостов Башкирского МСК во внешних отвалах, технология кучного выщелачивания для переработки хвостов Кировградской и Красноуральской фабрик [26]. Однако, применение кучного выщелачивания для переработки отходов обогащения по месту их расположения сдерживается низкими коэффициентами фильтрации жидкости через слой тонкогидисперного материала хвостов обогащения [37].

Получили развитие методы механоактивации окисленных в процессе хранения хвостов обогащения. Механохимическая активация оказалась эффективной для селективного выщелачивания цинка из медно-цинковых промпродуктов растворами перекиси водорода [37].

В общем можно сказать, что объемы использования хвостов обогащения руд в странах СНГ невелики. К примеру, высокосернистые хвосты Башкирского и Красноуральского комбинатов с содержанием серы 38% подшихтовывались к пиритному концентрату, сернистые хвосты с содержанием серы 7-8% Кировградского комбината использовались для закладочных работ. Проектное решение по переработке накопленных хвостов на пиритный концентрат на Карабашской, Красноуральской и Башкирской фабриках оказалось убыточным [26].

Пиритные хвосты обогащения могут быть пригодны для повторной переработки флотацией с доизвлечением меди, цинка, золота и серебра и использованием хвостов в качестве строительных материалов [24, 26-28].

Значительные трудности связаны с переработкой шламовой части хвостов. Большая часть потерь (до 30%) приходится на тонкие классы,

флотация которых малоэффективна из-за низкой эффективности флотационного метода для разделения. Наиболее перспективным решением является селективная флокуляция. Селективная флокуляция основана на избирательной адсорбции полимера на извлекаемом компоненте, что обуславливает агрегацию частиц с образованием флокул, которые затем могут быть отделены флотацией, осаждением или другими способами.

При переработке техногенного сырья малоэффективно использование традиционных методов. Наиболее перспективны комбинированные обогатительно-гидрометаллургические технологии с применением сочетаний реагентов. Перспективно получение полиметаллических сульфидных продуктов, извлечение ценных компонентов из которых возможно с применением пиро- и гидрометаллургических технологий.

Переработка техногенного сырья позволит получить дополнительный товарный продукт и тем самым частично решит проблемы загрязнения окружающей среды.

Установлено, что основные потери ценных компонентов связаны с более крупными классами хвостов обогащения. Для извлечения ценных элементов из хвостов необходимо развивать исследования по их раскрытию с последующей флотацией. Такие технологии обогащения хвостов использованы, например, на Алмалыкской медной фабрике (Узбекистан), Балхашской обогатительной фабрике. Однако из-за экономической нецелесообразности показателей было приостановлено доизвлечение меди из хвостов.

Касательно отечественной практики переработки техногенного сырья можно сказать, что в пределах нашей страны имеются существенные запасы хвостов, занимающих полезные площади и угрожающих загрязнением почвы и водоемов, да и в принципе ухудшением экологической обстановки.

Огромные запасы сформированы на хвостохранилище Жезказганской обогатительной фабрики (ЖОФ), которое расположено в Карагандинской области в 6 км к юго-востоку от г. Жезказган. В северо-западном направлении на расстоянии 200 м проходит республиканская автодорога Жезказган-Караганда, в 4,2 км западнее находится станция Жезказган и Жезказганская обогатительная фабрика на расстоянии 4,1 км. Хвостохранилище расположено на подпойменной террасе р. Кенгир, частично на склоне речной долины. Законсервированное хвостохранилище Жезказганских обогатительных фабрик (ЖОФ) №1, 2 представляет собой намывное хвостохранилище равнинного типа, с периметром по пионерной дамбе - 12,5 км, поверху - 10,8 км, максимальной высотой 69,5 м. Дамбы отвалообразования возводились из песков пляжной зоны с обсыпкой дресвяным грунтом. Конечная максимальная отметка дамбы обвалования составляет 427,5 м. Пионерная дамба хвостохранилища выполнена из суглинков. Экранирование ложа отсутствует, так как верхний слой грунтов основания представлен суглинками толщиной от 3 - 5 до 15-20 м.

Складирование хвостов производилось в период с 1964 по 2007 гг. За указанный период в хвостохранилище накоплено 852813,51 тыс. тонн хвостов со средним содержанием меди 0,128 %, серебра - 2,46 г/т.

Таким образом, литературный обзор методов переработки медных хвостов обогатительных фабрик на предприятиях стран СНГ показывает, что высокая стоимость металлов делает экономически целесообразной доработку хвостов с целью перевода меди в товарные продукты. Технологии переработки медьсодержащих хвостов, включают стадийное измельчение в замкнутом цикле со спиральными классификаторами, основную и контрольную флотацию медных минералов, промпродукта и хвостов, перечистную флотацию концентрата основной медной флотации, доизмельчение промпродуктов и их флотацию. При флотации хвостов обогатительных фабрик используют традиционные реагенты, используемые на обогатительных фабриках.

Однако описанные схемы флотации оказались недостаточно эффективными для обогащения медьсодержащих хвостов.

Хорошие показатели флотации медьсодержащих хвостов достигаются лишь при сочетании двух вспенивателей и других реагентов. Использование двух вспенивателей Т-90 и МИБК при флотации лежалых хвостов ЖОФ способствует снижению содержания меди в хвостах, при этом извлечение меди в концентрат основной и контрольной флотации повышается. В связи с этим вопрос усовершенствования технологии переработки медьсодержащих хвостов становится все актуальнее и требует решения. Вовлечение в переработку этих отходов позволит не только получить дополнительную продукцию, но и снизить экологический ущерб окружающей среде.

На основании выше изложенного, целью магистерской диссертации является исследование оптимальных технологических параметров флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики(ЖОФ).

## **2 Методы исследования**

### **2.1 Минералогический анализ**

Метод минералогического анализа используется для изучения вещественного состава и выяснения контрастности свойств. Метод морфологического анализа дает возможность определить размерность, формы и взаимосвязь одних минералов с другими [44]. Минералогический анализ проб был проведен с использованием микроскопа МИН-8 (проходящий свет) и инвертированного микроскопа Deica (отраженный свет).

### **2.2 Ситовый анализ руды**

Гранулометрический состав массы руды определяется следующими методами анализа: ситовой, дисперсный и микро-электрозондовый

Ситовой анализ – это рассев твердого на ситах или решетках с отверстиями различного размера. Диаметр зерна определяется размером отверстия сита, через которое оно просеивается. Твердая часть материала, оставшаяся на поверхности сита принято называть «плюс» (+), а просеяную часть через это решето знаком «минус» (-).[41-43].

В настоящее время рассев через сито позволяет определить класс крупности частиц до 0,020 мм. Рассев через сито выполняется сухим, или мокрым методом. Комбинированный способ нашел применение для материала с высоким содержанием глины и шламообразующих минералов.

На механическом встряхивателе, на верхнее сито набора помещается навеска материала и затем весь набор приводится в состояние встряхивания механическим способом до 30 мин., Если при контрольном просеивании за 1 минуту через сито проходит не более 2 % материала, находящегося на сите, то рассев считается законченным. По результатам ситового анализа проводят анализ в виде графической зависимости с помощью линейной, полулогарифмической или логарифмической шкал. На оси абсцисс располагают размер отверстий сит в миллиметрах, а на оси ординат – суммарный остаток на ситах в процентах. Суммарную характеристику крупности твердого материала можно построить и «по минусу».

### **2.3 Атомно-эмиссионный спектральный анализ**

Спектрограф ДФС-13 с плоской дифракционной решеткой предназначен для фотографирования спектра от 2000 до 10 000 А. Прибор ДФС-13 позволяет производить наиболее полное изучение состава веществ и определять примеси в них других элементов, которые на спектрографе средней дисперсии не удается обнаружить.

## 2.4 Рентгенофазовый анализ

*Анализ рентгенофазовый (РФА)* – метод количественного определения содержания отдельных фаз в многофазовых поликристаллических материалах, основанный на зависимости интенсивности дифракционных максимумов (отражений) от содержания определяемой фазы.

Рентгенофазовый анализ проб золотосодержащего шлама исследован на аппарате D8 Advance (Bruker), излучение  $\alpha$  – Cu, напряжение на трубке равно 40/40. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз проводились по программе Search/match с использованием Базы данных карточек ASTM.

## 2.5 Флотационный метод обогащения

Флотация представляет собой основной технологический процесс обогащения большинства полезных ископаемых. Данный метод базируется на различии в физико-химических свойствах поверхности минералов. Это выражается в том, что различные минералы в зависимости от своей химической природы могут по-разному смачиваться водой.

Степень смачиваемости минералов водой по-другому называют флотационной способностью, эту свойство можно изменять направленно, путем обработки поверхности минерала флотационными реагентами.

Флотационными реагентами называются химические вещества, которые вводятся в пульпу с целью регулирования и управления процессом флотационного обогащения.

В зависимости от назначения в процессе флотации в каждом конкретном случае различают регуляторы активирующего, депрессирующего или подавляющего действия, а также регуляторы среды.

Регуляторы активирующего действия (активаторы) используют при флотации минералов, извлечение которых одним собирателем и пенообразователем является затруднительным.

Расход собирателя определяется в одном опыте путем фракционного снятия пены и дробной подачи собирателя. Сначала подается минимальный расход коллектора при незначительном расходе вспенивателя, после чего снимается пена. Визуально и зная содержание полезного компонента в руде можно определить оптимальное количество собирателя.

Подача дополнительной порции реагента вызывает снова усиление минерализации пены тем же минералом. Выделение второй фракции пены указывает на необходимость дополнительного расхода собирателя и снимают третью фракцию до отсутствия в

пене исследуемого минерала. Низкое извлечение предусматривает повышение количество собирателя.

В том случае когда в опыте при подаче собирателя появляется сильноминерализованная пена, значит коллектора было в избытке.

Опытный исследователь пользуется реагентным режимом для флотации подобных руд, применяя дробную подачу коллектора и дробное снятие пены. При повышении расхода собирателя извлечение металла возрастает, а качество концентратов снижается.

Продолжительность кондиционирования с реагентами имеет большое значение при флотации руд. Время кондиционирования как правило составляет 1 до 4 минут. Перемешивание пульпы с реагентами проводится в агитационных чанах. В лабораторных условиях пульпу с реагентами и агитируют в той же флотационной машине без аэрации или в стакане.

Порядок подачи реагентов может быть различным для разных видов руд. Трудно-растворимые реагенты подают в виде эмульсии и в цикл измельчения. В цикл измельчения могут подавать реагенты, роль которых заключается в связывании ионов активаторов или депрессоров, находящихся в руде или образующихся при измельчении.

Температура пульпы при флотации в большинстве случаев выдерживается в пределах 15-250 С. Лишь при флотации немногих руд (например, сфалеритовых, шеелитовых) или селективной флотации коллективных концентратов пульпу подогревают при предварительном перемешивании или перед флотацией.

Плотность пульпы имеет при флотации руд в большинстве случаев значительного влияния на показатели не оказывает. Как правило проводят опыты при той плотности пульпы, которая выдерживается на обогатительных фабриках. Для шламистых руд лучшие результаты флотации получается в более жидкой пульпе (около 20% твердого), а для зернистой и крупноизмельченной руды выгоднее более густая пульпа.

Действие реагентов, в частности собирателей, зависит от содержания твердого в пульпе, поэтому проводят эксперименты при различной концентрации и при разном отношении Ж:Т. Извлечение начинает понижаться, либо наоборот, с понижением расхода реагентов при низком отношении Ж: Т, если качество концентратов снижается. Надо учитывать также, что с изменением содержания твердого изменяется и скорость флотации: она понижается обычно как при плотной пульпе, так и при очень жидкой.

Продолжительность флотации- определяется попутно в процессе выяснения режима флотации. Для этого в каждом из производимых опытов фиксируют продолжительность флотации. Когда условия флотации подобраны, можно поставить контрольный опыт, в котором пену снимают фракционно, по времени.

Перечистка концентратов производят в небольших машинах. Объем пенного продукта при перенесении его в машину и смывании водой может

оказаться большим, чем объем машины. Во избежание этого пенной продукт отстаивают, сливают избыток жидкости и пользуются ею для смывания концентрата в машину и добавления жидкости в процессе работы при понижении уровня пульпы. В перечистные операции реагенты обычно не добавляют, но в некоторых случаях, особенно при селективной флотации, добавляют подавители и даже специально подготавливают пульпу перед перечисткой.

После того как выяснены все основные условия флотации по отдельным опытам, ставят опыты по флотации в замкнутом цикле[45].

В тех случаях, когда ставят такие опыты, необходимо учитывать, что действие реагентов, в частности собирателей, зависит от содержания твердого в пульпе. Поэтому проводя опыты при переменной концентрации собирателя в единице объема пульпы, необходимо поставить дополнительные опыты либо с повышением расхода при более жидкой пульпе, если с повышением отношения Ж: Т извлечение начинает понижаться, либо наоборот, с понижением расхода реагентов при низком отношении Ж: Т, если качество концентратов снижается. Надо учитывать также, что с изменением содержания твердого изменяется и скорость флотации: она понижается обычно как при плотной пульпе, так и при очень жидкой.

*Продолжительность флотации* - определяется попутно в процессе выяснения режима флотации. Для этого в каждом из производимых опытов фиксируют продолжительность флотации. Когда условия флотации подобраны, можно поставить контрольный опыт, в котором пену снимают фракционно, по времени.

*Перечистка концентратов* производят в небольших машинах. Объем пенного продукта при перенесении его в машину и смывании водой может оказаться большим, чем объем машины. Во избежание этого пенной продукт отстаивают, сливают избыток жидкости и пользуются ею для смывания концентрата в машину и добавления жидкости в процессе работы при понижении уровня пульпы. В перечистные операции реагенты обычно не добавляют, но в некоторых случаях, особенно при селективной флотации, добавляют подавители и даже специально подготавливают пульпу перед перечисткой.

После того как выяснены все основные условия флотации по отдельным опытам, ставят опыты по флотации в замкнутом цикле. В этой серии опытов промпродукты предыдущего опыта направляются в соответствующее место последующего, например промпродукт основной флотации или хвосты перечистки соединяют с пульпой из мельницы последующего опыта и затем вместе флотируют. Промпродукты последнего опыта перечищаются, концентраты и хвосты перечистки промпродукта анализируют отдельно.

Повышение технологических показателей обогащения руд может быть достигнуто при использовании сочетания двух вспенивателей в процессе основной и контрольной флотации [45].

### 3 Изучение гранулометрического состава лежалых хвостов, распределения меди и серебра по классам крупности и определение их форм нахождения

Наибольшие потери металлов в процессе обогащения связаны с ртотками сульфидов меди, цинка и железа с нерудными минералами, неполного раскрытия минеральных зерен, а также не выполнением технологического режима переработки.

Для удовлетворительного раскрытия сложных тонких сротков необходимо измельчение руды до 90-95% класса -44 мкм. При такой тонине помола флотационное питание будет содержать 70-75% класса -20 мкм, извлечение из которого в пенный продукт обычно снижается на 10-30% по сравнению с флотацией материала крупностью -100+44 мкм. Кроме того, даже в материале крупностью -10 мкм наблюдается присутствие сложных сротков сульфидов перечисленных металлов.

Минералогический анализ хвостов обогатительных фабрик показал, что медные минералы представлены в основном халькопиритом; доля вторичных сульфидов и оксидов меди невелика и составляет около 15%. Содержание оксидных соединений цинка несколько выше - 20-25%. Основное количество сульфидов находится в раскрытом состоянии и, в то же время, около 20% медных и цинковых минералов присутствует в виде сротков с пиритом и порообразующими минералами. Поверхность сульфидов частично окислена и загрязнена пленками оксида железа.

Исследование гранулометрического состава медьсодержащего техногенного сырья велось на пробе хвостов участка Боргесай. Хвосты имеют крупность -0,4 мм и сложный вещественный состав. Ситовый анализ заключается в просеивании пробы через стандартный набор сит и в определении процентного содержания остатка на каждом из них по отношению к массе исходной пробы. Для определения размера частиц в пробе шламов использовали сита размером 0,071 и 0,05 мм и провели просеивание на механическом анализаторе. Гранулометрическая характеристика исследуемого продукта лежалых хвостов приведена в таблице 1 и химический состав на рисунке 1.

Таблица 1 - Распределение меди и серебра по классам крупности лежалых хвостов участка Боргесай

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Ag	Cu	Ag
+ 0,2	28,6	0,32	7,1	35,12	39,63
-0,2 + 0,1	35,74	0,18	3,44	24,7	24,0
-0,1 + 0,07	6,84	0,185	3,52	4,86	4,74

Продолжение таблицы 1

-0,071+ 0,05	8,62	0,2	4	6,62	6,73
-0,05+ 0	20,2	0,37	6,32	28,7	24,9
ИТОГО (лежалые хвосты отвала Боргесай)	100,0	0,26	5,12	100,0	100,0

Полученные результаты распределения меди и серебра по классам крупности свидетельствуют о том, что существенное количество меди в старогодних хвостах Боргесай сосредоточено в классе крупности +0,071 мм - 64,68 %. В классах -0,05 + 0 мм содержание меди составляет ~0,37 % и серебра ~ 6,32 г/т.

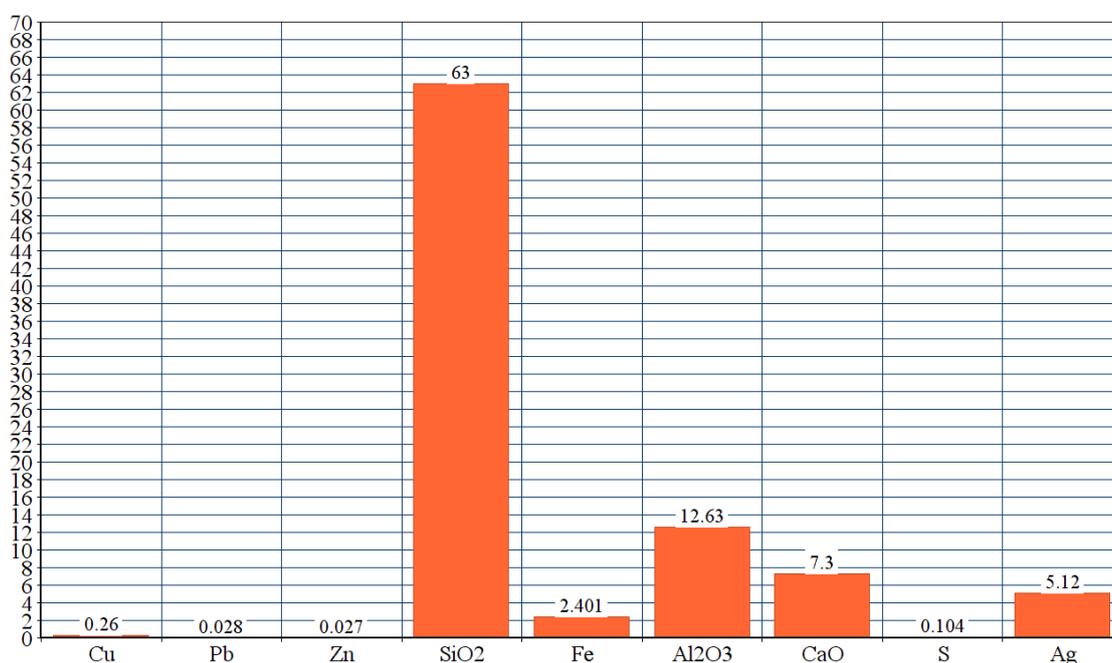


Рисунок 1 – Химический состав старогодних хвостов участка Боргесай

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение  $\alpha$ -Cu. Условия съемки дифрактограмм: U=35 kV; I=20 mA; шкала : 2000 имп; постоянная времени 2с; съемка тэта-2тэта; детектор 2 град/мин (таблица 2).

Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе проводился по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ASTM Powder diffraction file и

дифрактограмм чистых от примесей минералов [46-47]. Дифрактограмма пробы исходной руды представлена на рисунке 2.

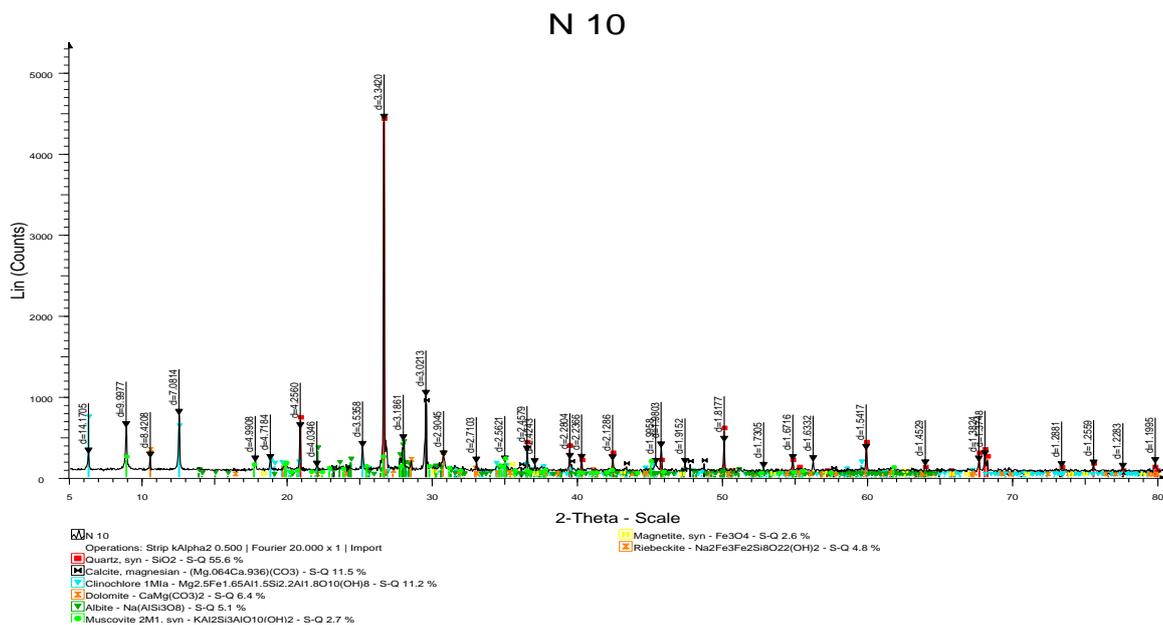


Рисунок 2 – Дифрактограмма средней пробы хвостов

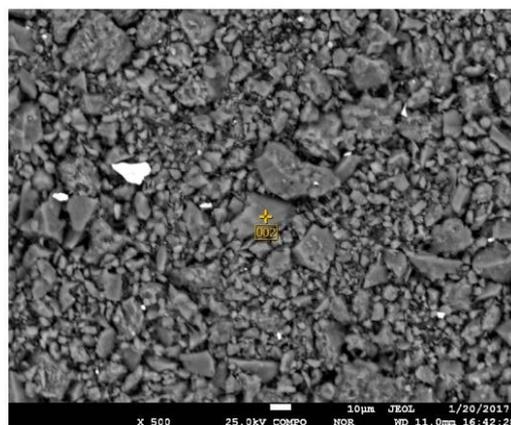
Таблица 2 – Результаты рентгенофазового анализа хвостов

Compound Name	Formula	S-Q
Quartz	SiO <sub>2</sub>	65
Albite, ordered	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	6.8
Glaucosite	(K,Na)(Fe+3,Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	5
Calcite, syn	CaCO <sub>3</sub>	6,3
Clinocllore-1MIIb	(Mg,Al,Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	3.7
Muscovite-1M, syn	KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	3,2

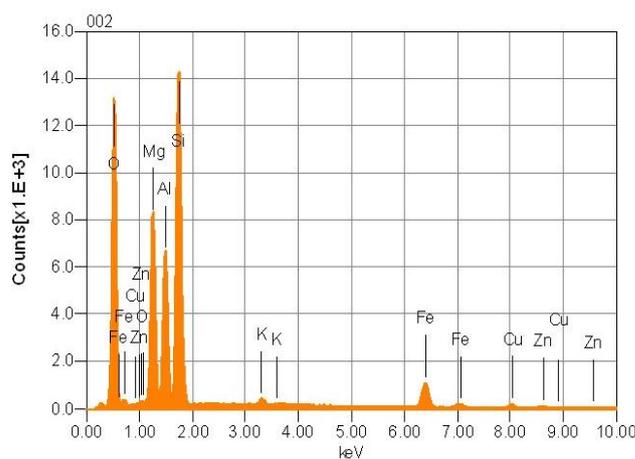
Главными породобразующими минералами являются кварц, составляющий 65 %, альбит-6,8 %, кальцит-6,3 % и мусковит-3,2 % и др.

Исследования с использованием микроскопа показали, что медные минералы составляют десятые доли процента и представлены халькопиритом, халькозином, ковеллином и борнитом. Количественные соотношения минералов примерно равны с незначительным преобладанием халькопирита и халькозина. Размеры рудных минералов составляют от тысячных до 0,04-0,07 мм в поперечном сечении. Находятся они в виде свободных зерен, но зачастую в виде включений в нерудных минералах.

Пробы исследуемых хвостов проанализированы на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL. Результаты микроанализа приведены на рисунках 3-7.



Volt : 25.00 kV  
 Mag. : x 500  
 Date : 2017/01/20  
 Pixel : 1280 x 960

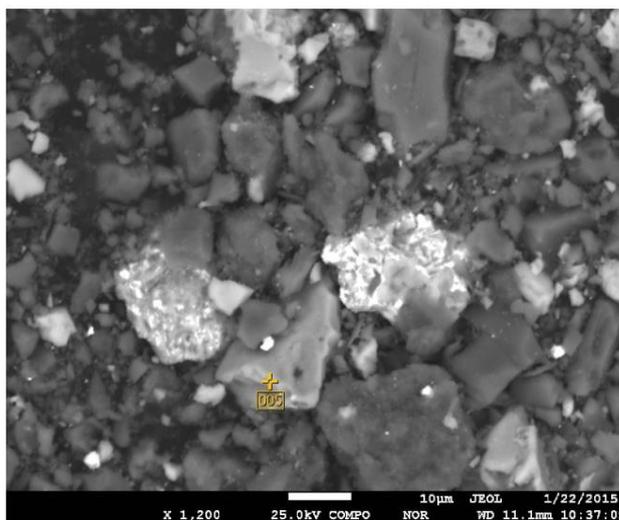


Acquisition Condition  
 Instrument : 8230  
 Volt : 25.00 kV  
 Current : 10.00 nA  
 Process Time : T1  
 Live time : 50.00 sec.  
 Real Time : 58.74 sec.  
 DeadTime : 15.00 %  
 Count Rate : 10568.00 CPS

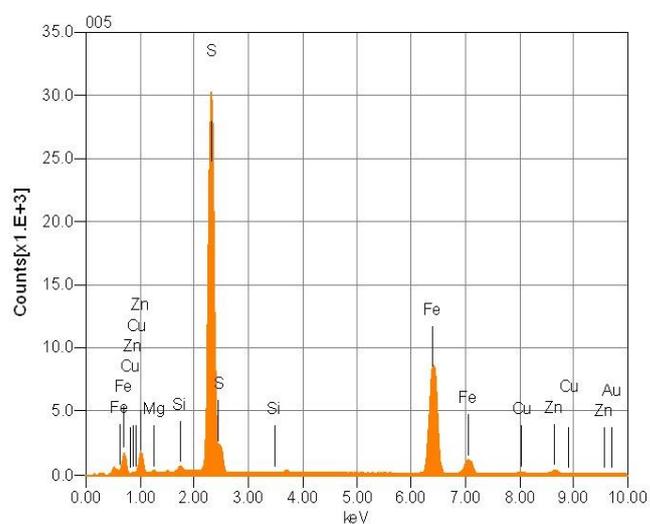
Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
O	54.94	68.72	0.38	2405583	0.2592295	K
Mg	11.13	9.16	0.21	1901289	0.0374640	K
Al	8.68	6.44	0.22	1630390	0.0313429	K
Si	18.74	13.35	0.23	3770313	0.0774945	K
K*	0.42	0.21	0.25	92953	0.0030861	K
Fe	4.52	1.62	0.50	547177	0.0304381	K
Cu*	0.91	0.29	0.94	70897	0.0058808	K
Zn*	0.67	0.20	1.16	44520	0.0043197	K
Total	100.00	100.00				

Рисунок 3 – Анализ исходных хвостов на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL

*Халькопирит* присутствует в виде свободных зерен и включений в нерудной массе. Свойства его обычны. Он обладает характерным латунно-желтым цветом, высокой отражательной способностью. Состав его следующий (%): Cu – 34–35; Fe – 30–31; 34–35.



Volt : 25.00 kV  
Mag. : x 1,200  
Date : 2015/01/22  
Pixel : 1280 x 960

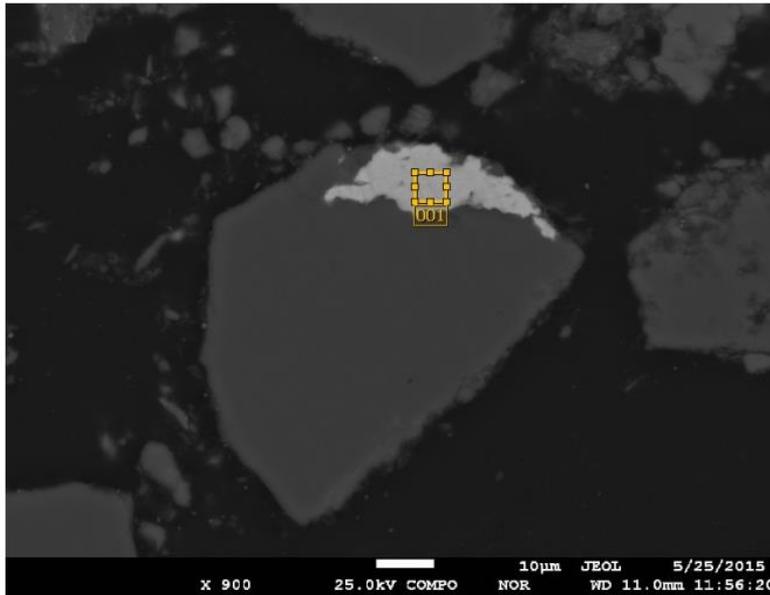


Acquisition Condition  
Instrument : 8230  
Volt : 25.00 kV  
Current : 5.00 nA  
Process Time : T3  
Live time : 50.00 sec.  
Real Time : 58.84 sec.  
DeadTime : 16.00 %  
Count Rate : 14119.00 CPS

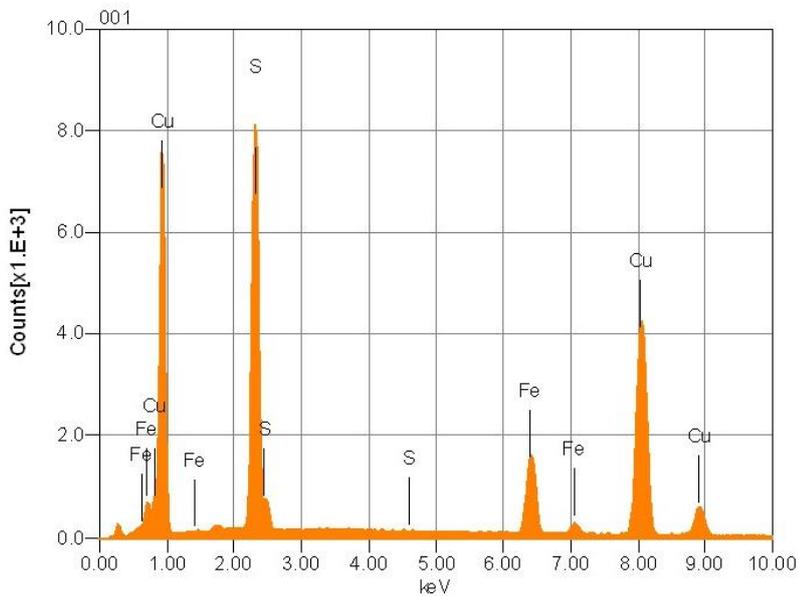
Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
Mg*	0.24	0.44	0.67	33099	0.0008861	K
Si*	0.52	0.81	0.51	115347	0.0032210	K
S	48.10	66.04	0.53	9971797	0.3638830	K
Fe	35.48	27.97	1.28	4229095	0.3196157	K
Cu*	0.83	0.57	2.41	62846	0.0070824	K
Zn*	1.89	1.27	2.93	124951	0.0164712	K
Au*	12.94	2.89	2.04	1431356	0.0903954	M
Total	100.00	100.00				

Рисунок 4 – Анализ исходных хвостов на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL (халькопирит)

*Борнит* встречается в виде сростков и включений в нерудных минералах (рисунок 5). В отраженном свете минерал коричневато-розовый, изотропный. Форма зерен неправильная.



Volt : 25.00 kV  
 Mag. : x 900  
 Date : 2015/05/25  
 Pixel : 1280 x 960

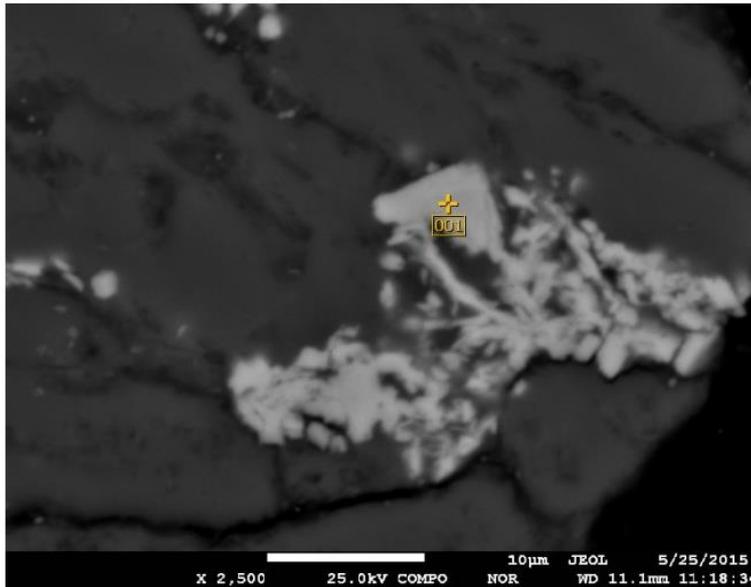


Acquisition Condition  
 Instrument : 8230  
 Volt : 25.00 kV  
 Current : 3.00 nA  
 Process Time : T3  
 Live time : 50.03 sec.  
 Real Time : 56.82 sec.  
 DeadTime : 12.00 %  
 Count Rate : 8541.00 CPS

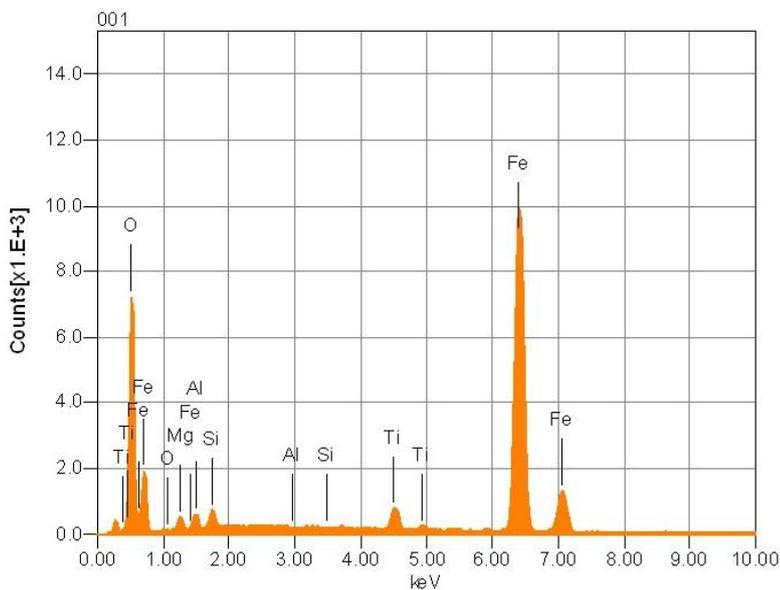
Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
S	28.83	43.97	0.47	2603064	0.1626582	K
Fe	11.75	10.29	1.02	718953	0.0930431	K
Cu	59.42	45.74	2.05	2175332	0.4197901	K
Total	100.00	100.00				

Рисунок 5 – Сросток борнита с кварцем

*Гематит и гидроокислы железа образуют псевдоморфозы по пириту микропрожилки гидроокислов железа в полевом шпате и скопления гидроокислов железа в кварце (рисунок б).*



Volt : 25.00 kV  
 Mag. : x 2,500  
 Date : 2015/05/25  
 Pixel : 1280 x 960



Acquisition Condition  
 Instrument : 8230  
 Volt : 25.00 kV  
 Current : 5.00 nA  
 Process Time : T3  
 Live time : 50.00 sec.  
 Real Time : 56.88 sec.  
 DeadTime : 13.00 %  
 Count Rate : 8396.00 CPS

Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
O	39.15	67.75	0.63	1381473	0.2596536	K
Mg	1.26	1.43	0.69	82868	0.0028480	K
Al*	1.05	1.08	0.54	99780	0.0033456	K
Si	1.11	1.10	0.48	134441	0.0048196	K
Ti	2.09	1.21	0.51	285726	0.0176698	K
Fe	55.33	27.43	0.90	4713177	0.4572895	K
Total	100.00	100.00				

Рисунок 6 – Гидроокислы железа в кварце

Распределение некоторых минералов, в том числе и Mn, Cu, Fe, Zn в образце пробы хвостов показано на рисунке 7.

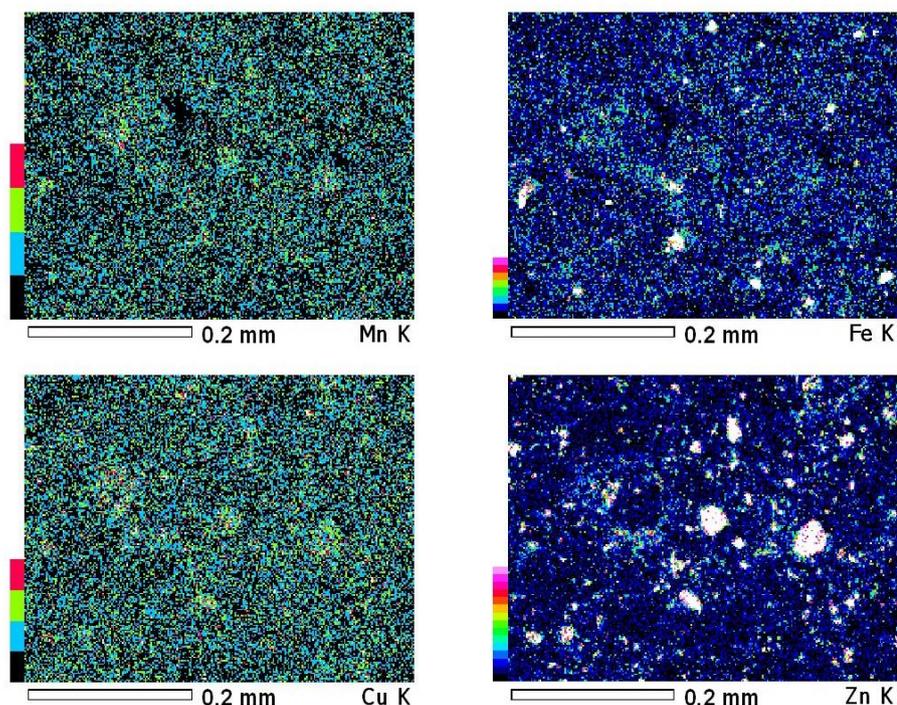


Рисунок 7 – Распределение Mn, Cu, Fe, Zn в образце пробы хвостов

Халькопирит – один из основных породообразующих минералов, наиболее распространенный среди них и количество зерен в его цементированных шлифах колеблется от 30 до 50 %; ковеллин – от 5 до 20 %; халькозин – от редких зерен до 20 %; борнит – от 4 до 25 %. Они расположены преимущественно внутри зерен вмещающих пород кремнистого состава, т.е. представляют собой упорные минералы (рисунок 8).

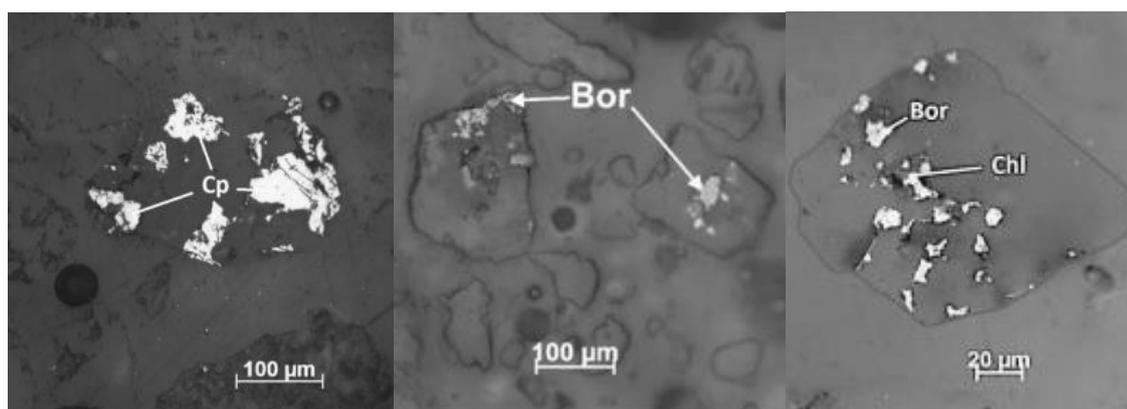


Рисунок 8 – Рудные минералы внутри и по краям зерен вмещающих пород: халькопирит (Cp), борнит (Bor) и халькозин (Chl)

Характерными особенностями отвальных хвостов обогащения руд являются преобладание в их составе шламовой части, доля которой по

отдельным хвостохранилищам достигает 70-80 %, наличие значительного количества неразделяемых сульфидных минеральных комплексов - тонких сложных сростков (в материале крупностью -10 мкм), раскрытие которых требует доизмельчения до 90-95 % класса -40 мкм и тоньше, присутствие корок вторичных сульфидов. Поэтому материал хвостов является более сложным объектом обогащения, чем первичные руды.

Количественные соотношения минералов примерно одинаковые с небольшим преобладанием халькопирита и халькозина. Размеры рудных минералов составляют от тысячных до 0,08 мм в поперечном сечении и находятся в виде свободных зерен, но чаще в виде тонких включений в пороодообразующих минералах.

Таким образом, результаты гранулометрического, химического и фазового анализов, выполненных на хвостах Жезказганской обогатительной фабрики участка Боргесай свидетельствуют о том, что основная часть ценных компонентов сконцентрирована в классе крупности плюс 0,071 мм и находится в виде сростков, для вскрытия которых необходимо включить в схему операцию измельчения.

#### **4 Исследование процесса флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики участка Боргесай**

В верхних горизонтах месторождений и техногенных георесурсов в значительных количествах содержатся окисленные минералы. Для их флотации сульфгидрильными собирателями совместно с сульфидами необходима предварительная сульфидизация элементной серой при рН~7 в последнем цикле измельчения и сернистым натрием при рН -8,5-9,5 перед флотацией. Метод переработки смешанных и окисленных медных руд, основанный на предварительной сульфидизации поверхности окисленных минералов меди, пригоден лишь для легко- и среднеобогатимых руд. Объясняется это тем, что хорошо сульфидизируется только поверхность малахита, азурита и брошантита, которые затем флотируются обычными сульфгидрильными собирателями. Совсем не поддаются сульфидизации хризоколла и другие минералы меди, входящие в состав труднообогатимых руд.

Флотацию окисленных медных минералов карбоновыми кислотами можно применять для кварц - и силикатосодержащих руд. Однако наличие карбонатных минералов пустой породы и гидроксидов железа снижает эффективность этого метода, так как жирнокислотные собиратели хорошо флотируют минералы пустой породы и не флотируют хризоколлу.

Низкая доля раскрытых сульфидных минералов, наличие многочисленных сростков, а также сростков рудных минералов с закрытой поверхностью предопределяют технологические трудности селективного разделения хвостов, но не исключают возможности получения сульфидных продуктов, извлечение ценных компонентов из которых возможно с применением пиро- и гидрометаллургических технологий.

Основные потери ценных компонентов связаны с более крупными классами хвостов обогащения. Для извлечения ценных элементов из хвостов необходимо развивать исследования по их раскрытию с последующей флотацией. Подобные технологии обогащения хвостов используются, например, на предприятиях США, Чили.

Переработка лежалых хвостов Жезказганской обогатительной фабрики (ЖОФ) участка Боргесай представляет интерес с точки зрения доизвлечения из них ценных компонентов, таких как медь и серебро. Перспективной является флотационная технология их переработки, заключающаяся в получении флотацией медного промпродукта, пригодного для дальнейшей переработки, что можно осуществить с помощью определенных флотореагентов.

Технологические показатели обогащения руд зависят от реагентного режима флотации и качества реагентов; при различных реагентных режимах один и тот же результат флотации может быть одинаковым.

Дозировка вспенивателя и сочетание различных реагентов способствует улучшению технологических показателей. В настоящий момент такие режимы применяются довольно редко.

Повышенный расход реагента зачастую способствует снижению качества концентрата. Оптимальные расходы реагентов гарантируют менее затратные расходы на процесс обогащения природного геосырья.

В лабораторных условиях определяют оптимальный реагентный режим и расход реагентов, которые реализуют в полупромышленных условиях.

В работе особое внимание было уделено влиянию пенообразователей на показатели эффективности флотации.

Вспенивателями являются поверхностно-активные вещества, которые функционируют преимущественно на поверхности раздела фаз жидкость — газ.

Применение пенообразователей — приводит к образованию в пульпе воздушных пузырьков и плотного пенного слоя.

Для флотации минерального сырья предложено более двухсот пенообразователей.

Использование пенообразователей зависит от pH пульпы. Существуют три группы: кислые, основные и нейтральные. В практике обогатительных фабрик часто используют нейтральные пенообразователи. В связи с токсичностью кислые и основные пенообразователи в СНГ полностью заменены нетоксичными нейтральными. К ним относятся пенообразователи с гидроксильными группами (спирты — алифатические, терпеновые, циклические), эфирными и гидроксильными группами (эфиры полипропилен- и полиэтиленгликолей ОПСБ, ОПСМ, доуфрос), циклические эфиры, содержащие гидроксильную группу в боковой цепи (оксаль), эфирные группы (триэтоксидбутан, диметилфталат Д-3).

Выбор пенообразователя зависит от множества факторов и решающим фактором является вещественный состав минерального сырья и степень раскрытия полезного компонента.

При флотации полиметаллических руд для эффективного обогащения руды применяют слабые вспениватели, а при флотации монометаллических руд — более активные вспениватели, которые приводят к увеличению скорости флотации. Сильные пенообразователи применяют при флотации руд грубого помола. Высшие алифатические спирты и спиртовые пенообразователи образуют менее устойчивую пену. Из спиртов крезол образуют более устойчивую пену.

Подача вспенивателей во флотацию или в агитацию перед основным процессом флотации производится из расчета 60-70% от суммарного расхода реагента.

Наиболее устойчивую пену, в которой удерживается большая часть пустой породы, образуют древесно-смоляные масла. В случае повышенной обводненности пены хорошие результаты может дать увеличение времени ее

отстаивания за счет регулировки работы пекогона (уменьшение частоты вращения и числа лопастей и т. п.).

Дозируют пенообразователи обычно непосредственно во флотацию или в операцию перемешивания перед флотацией. В начальные операции рекомендуется подавать не менее 60—70 % общего расхода реагента.

Разные физические свойства связаны с высокой полярностью гидроксильной группы, которая, находясь в углеводородной цепи, определяющим образом влияет на полярность молекулы. Результат этого — значительное притяжение между молекулами, особенно ярко выраженное для твердого и жидкого состояний веществ. Оно приводит к ассоциации молекул в результате образования водородных связей.

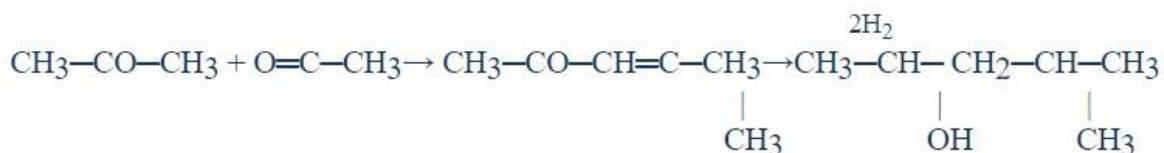
Алифатические спирты ROH, где R имеет число углеродных атомов от 6 до 9 являются высокоэффективными пенообразователями. Кроме этого, спирты нашли широкое применение в качестве растворителей, экстрагентов, пластификаторов, добавок к гидравлическим жидкостям и текстильным препаратам и др.

Сосновое флотационное масло — это смесь терпеновых спиртов и терпеновых углеводов, причем терпеновые спирты представлены несколькими десятками соединений, из них наиболее распространены — терпинеолы, борнеолы, фенхилловые спирты, камфара. Среди нейтральных соединений — борнилацетат, терпеновые углеводороды — лимонен, карен, бисаболен, сесквитерпеновый спирт, фарнезол.

Растворимость в воде соснового флотационного масла составляет 20 — 50 мг/л.

Сосновое масло в отечественной флотационной практике применяется лишь на некоторых обогатительных фабриках, перерабатывающих полиметаллические руды, в селективном цикле флотации.

Наибольшее применение нашел *метилизобутилкарбинол*, получаемый кротоновой конденсацией ацетона с последующим гидрированием двойной связи



Это сильный высокоэффективный пенообразователь, применяющийся при флотации медно-никелевых руд и медно-молибденовых. Его растворимость в воде составляет 1,7%, температура кипения 135 — 137°C, температура замерзания -90°C.

Циклогексанол C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>OH представляет собой циклический спирт, применяемый для селективной флотации. В промышленности циклогексанол используется также в качестве растворителя под названиями гексалин, гидропол.

Циклогексанол представляет собой бесцветную жидкость, имеет слабый камфарный запах. Температура кипения его 160°C, плавления 22,5°C. Пары циклогексанола образуют взрывоопасные смеси с воздухом. Пределы взрывоопасных объемных концентраций составляют 11 – 52 %, растворимость в воде при 25°C достигает 3,6%, с повышением температуры растворимость уменьшается, ПДК в водоемах 0,02 – 0,05 мг/л.

К пенообразователям, содержащим эфирные связи, относятся Т-66, ОПСБ, оксаль, ОПСМ, ВВ-2, Э-1, и Д-3.

*Оксаль и Т-66.* Оксаль в последние годы получил наиболее широкое распространение в практике обогащения. Он применяется при флотации руд цветных металлов, калийных солей, серы и угля и обеспечивает около 90% всей потребности отечественных обогатительных фабрик. Оксаль – это улучшенный вариант пенообразователя Т-66; менее токсичен и летуч, чем Т-66; расход оксаля ниже на 10 – 20 %, чем расход Т-66.

Оксаль имеет светло-коричневый цвет, слабый приятный запах, умеренную растворимость в воде, плотность 1,06 – 1,08 г/см<sup>3</sup> при 20°C; массовая доля ОН-групп составляет 23 – 36%; эфирное число 1,5 – 4 мг КОН/г; температура вспышки в открытом тигле не ниже 90°C; температура самовоспламенения 272°C.

ОПСБ и Э-1 представляют собой смеси эфиров полипропилен-(ОПСБ) и полиэтилен-(Э-1) гликолей, имеющие в конце молекул гидроксильную группу. Аналогичные полигликолевые пенообразователи, производимые в США под маркой «Доуфрос», широко применяются в зарубежной практике. На их долю приходится более 70 % всех расходуемых пенообразователей.

ОПСБ представляет собой масло коричневого цвета со слабым запахом. В 5%-ный водный раствор переходит 90% реагента. Применяется при флотации крупных частиц медно-молибденовых руд и алмазов.

Э-1 более слабый пенообразователь, чем ОПСБ. Он хорошо растворим в воде. Применяется при флотации полиметаллических руд.

Пенообразователь ВВ-2 применяется при флотации медно-свинцово-цинковых руд.

Пенообразователь Д-3 – один из немногих пенообразователей, не содержащих гидроксильных групп. Это сложный эфир фталевой кислоты и метанола – диметилфталат, применяется в основном как репеллент (жидкость от комаров). Растворимость его в воде составляет 4,5 г/л. Применяется при флотации полиметаллических руд.

Повышение технологических показателей обогащения руд может быть достигнуто при использовании сочетания двух вспенивателей в процессе основной и контрольной флотации.

К примеру, по мнению Абрамова А.А. [48], при равной молярной адсорбции диспергирующие и пенообразующие свойства пенообразователей определяются в основном строением радикала в соответствии с эффектом Марангони–Гиббса. Их комбинация не сопровождается синергическим эффектом, если их концентрация не превышает критической концентрации

селективности. Путем сочетания слабых и сильных вспенивателей можно добиться желаемой скорости флотации, а также устойчивого пенообразования. Известно, что слабые вспениватели имеют высокую избирательность, но характерны низкой скоростью флотации, а сильные наоборот— высокой скоростью флотации и низкой избирательностью. Дальнейшее повышение селективности пенообразователей может быть достигнуто использованием пенообразователей, способных к непосредственному селективному взаимодействию с поверхностью минерала и увеличению степени ее гидрофобности, изменением состава физически сорбированного вещества при адсорбции пенообразователя на гидрофобной поверхности минерала и его кинетических характеристик разрыва гидратной прослойки между пузырьком и частицей при закреплении частицы на пузырьке; формированием состава адсорбционного слоя ПАВ на поверхности пузырька и изменением его релаксационных характеристик, определяющих прочность контакта пузырек – частица в турбулентных условиях флотации.

В работе изучалось влияние использования сочетания двух вспенивателей (Т-90 и МИБК) на извлечение меди в концентрат при флотации лежалых хвостов участка Боргесай. Отработка режима флотации проводилась с применением реагентов: сернистого натрия, бутилового оксантогенатанатрия, пенообразователя Т-90.

*Определение оптимальной крупности измельчения.* В опытах по флотации хвостов ЖОФ было предусмотрено обязательное доизмельчение по классу минус 0,074 мм. Доизмельчение исходных хвостов перед флотацией проводили в течение различного времени измельчения от 5 минут с интервалом 5 минут. При проведении опытов по выбору подходящей крупности измельчения шлаков, выяснилось, что с повышением тонины помола до 90-95 % по классу минус 0,074 мм содержание меди в хвостах флотации снижается (рисунок 9).

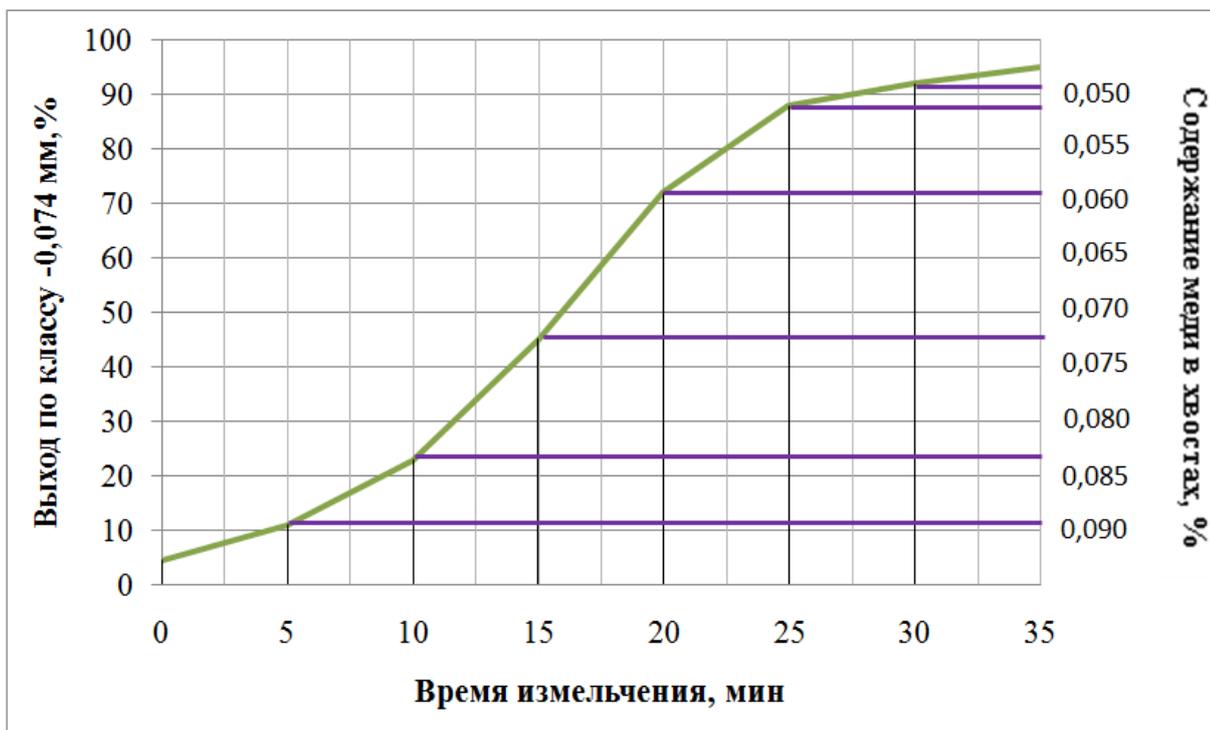


Рисунок 9 – Влияние крупности измельчения хвостов ЖОФ на показатели содержания меди в хвостах флотации

При конечной крупности измельчения хвостов 90,0% -0,074 мм по схеме, включающей основную и контрольную флотации можно получить отвальные хвосты с содержанием менее 0,09 %.

*Определение расхода реагентов при флотации хвостов ЖОФ.* Исходный шлак подвергался обдирке поверхности минералов, измельчению их до крупности 90-95 % класса минус 0,074 мм. Измельчение при плотности 30 % твердого и стержневой загрузке Т:Ж=1:1 создает оптимальные условия очищения поверхности частиц от шламов. Операции обдирки и доизмельчения осуществлялись в стержневой мельнице без добавления реагентов в естественной среде рН 8-8,5. Расход реагентов при определении оптимального значения рН среды флотации медных минералов принят из литературных данных [41] и составил общий расход бутилового ксантогената калия – 150 г/т, вспениватель Т-90-120 г/т.

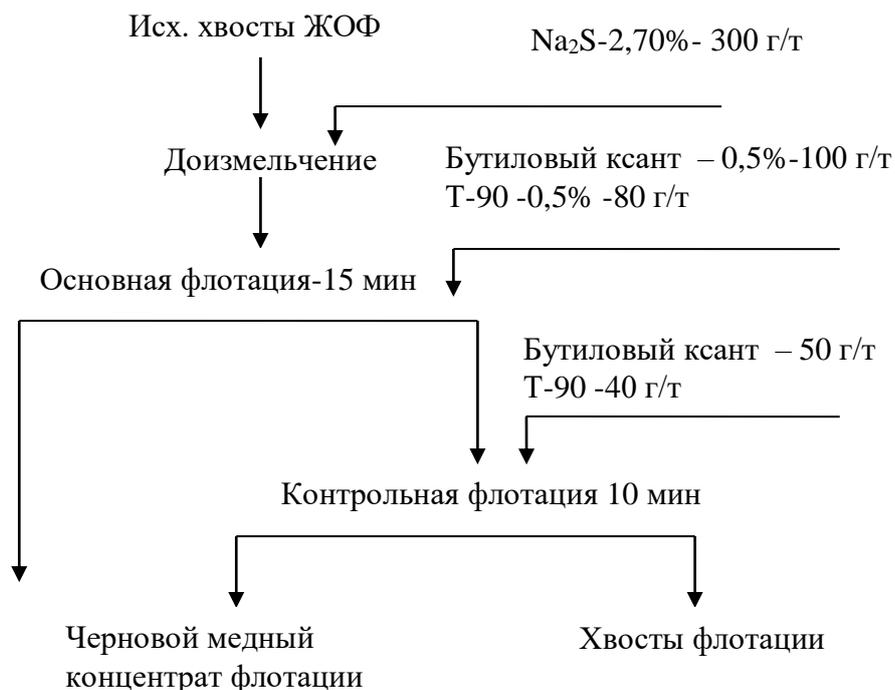


Рисунок 10 –Схема флотации хвостов обогащения Жезказганской обогатительной фабрики с получением чернового медного концентрата

Опыты проведены по схеме (рисунок 10), включающей основную и контрольную флотации с применением реагентов:

*Режим основной флотации:*

- 1) Крупность исходного материала 90-95 % класса минус 0,074 мм.
- 2) Расход реагентов:  
 $\text{Na}_2\text{S}$ -2,7 %- 300 г/т,  
 - бутиловый ксантогенат –100 г/т;  
 - Т-90 – 80 г/т.

- 3) Продолжительность флотации:  
 - основная флотация – 15 минут.

*Режим контрольной флотации:*

- 1) Крупность исходного материала 90- 95% класса минус 0,074мм.
- 2) Расход реагентов:  
 - бутиловый ксантогенат – 50 г/т;  
 - Т-90 – 40 г/т.
- 3) Продолжительность флотации:  
 - контрольная флотация – 10 минут.

*Определение влияния применения двух вспенивателей на процесс флотации хвостов Боргесай.* В таблице 3 приведены сравнительные технологические показатели флотации лежалых хвостов с использованием сочетания двух вспенивателей.

Таблица 3–Сравнительные технологические показатели флотации  
лежалых хвостов Боргесай

Наименования продукта	Выход, %	Содержание, % Cu	Извлечение, % Cu
<i>Опыт - с одним вспенивателем Т-90(базовый)</i>			
<i>Условие: Измельчение-90-95% кл.-0,074+0мм; Реагенты: Na<sub>2</sub>S -2,7%-300 г/т, бутиловый ксантогенат-0,5%-150 г/т, Т-90-0,5%-120 г/т, плотность пульпы-30% тв, время флотации: основ. фл. - 15 мин, контр.фл.-10 мин</i>			
Черновой медный концентрат	8,5	1,87	61,3
Хвосты отв	91,5	0,11	38,7
Итого	100,0	0,26	100,0
<i>Опыт – с использованием двух вспенивателей (Т-90:МИБК)</i>			
<i>Условие: Измельчение-90-95% кл.-0,074+0мм; Реагенты: Na<sub>2</sub>S -2,7%-300 г/т, бутиловый ксантогенат-0,5%-150 г/т, Т-90-0,5%-90,0 г/т, МИБК-10 г/т, плотность пульпы-30% тв, время флотации: основ фл- 15 мин, контр.фл.-8 мин</i>			
Черновой медный концентрат	8,1	2,18	68,18
Хвосты отв	91,9	0,09	31,82
Итого	100,0	0,26	100,0

Лабораторными исследованиями по флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики показана эффективность применения сочетания двух вспенивателей Т-90 и МИБК. Использование двух вспенивателей Т-90 и МИБК в процессе флотации хвостов ЖОФ способствует снижению содержания меди в хвостах на 0,02% (таблица 3), при этом извлечение меди в концентрат основной и контрольной флотации составляет 68,18%.

Таким образом, в открытом цикле из лежалых хвостов участка Боргесай с применением сочетания двух вспенивателей Т-90 и МИБК получен черновой медный концентрат с содержанием меди 2,18 % при извлечении 68,18 %. Использование сочетания двух вспенивателей Т-90 и МИБК, по сравнению с базовым режимом, способствует повышению извлечения меди в концентрат на 6,88 %.

## 5 Определение оптимальных технологических параметров флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики участка Боргесай

Обычно для простых руд, условия флотации которых приблизительно известны, в первую очередь определяется необходимая тонкость измельчения. Результаты ситового анализа, а также распределения меди и серебра по классам крупности говорят о том, что основное количество меди в лежалых хвостах Боргесай сосредоточено в классе крупности  $+0,071$  мм - 64,68%. Размеры рудных минералов составляют от тысячных до  $0,04-0,07$  мм в поперечном сечении и находятся в виде свободных зерен, но зачастую в виде включений в нерудных минералах. Отсюда следует, что для раскрытия зерен рудных минералов необходимо доизмельчение хвостов обогатительной фабрики.

Тонкость измельчения обычно измеряется продолжительностью измельчения в данной мельнице при постоянной загрузке дробящей среды, руды, воды и реагентов и характеризуется ситом с наименьшим размером отверстия, через которое проходит весь продукт или остается не более 2% исходного продукта (например,  $+0,42$  мм  $+0,3$  мм и т.д.) и выходом класса - 74мкм. На рисунке 11 построен график, выражающий зависимость между продолжительностью измельчения данной руды и содержанием в ней класса - 74 мкм. Для построения графика проведены несколько опытов (не меньше трех) с различной продолжительностью измельчения, например 10, 20, 40 мин.



Рисунок 11 – Зависимость содержания класса-0,074 мм от продолжительности измельчения хвостов ЖОФ

Оптимальный суммарный расход собирателя-бутилового ксантогената составил 150 г/т исходных хвостов, при этом расходе содержание меди в хвостах контрольной флотации составляет от 0,011-0,013%.

Оптимальное время перемешивания пульпы с реагентами составило 1-2 минуты.

*Порядок подачи реагентов* может быть различным для разных видов полезных ископаемых. Нами в лабораторную мельницу подавался керосин при расходе 100 г/т.

*Температура пульпы* при флотации в большинстве случаев выдерживается в пределах 15-25<sup>0</sup> С. Температура пульпы при флотации хвостов Боргесай составила 22<sup>0</sup> С.

*Плотность пульпы* имеет большое значение при подготовке ее к флотации. Плотность пульпы при флотации руд в большинстве случаев существенного влияния на показатели не оказывает. Поэтому целесообразнее проводить опыты при той плотности пульпы, которая соответствует фабричным условиям классификации при данной тонкости измельчения. Оптимальная плотность пульпы составила 30% твердого.

*Продолжительность флотации*- определяется попутно в процессе выяснения режима флотации. Для этого в каждом из производимых опытов фиксируют продолжительность флотации. Когда условия флотации подобраны, можно поставить контрольный опыт, в котором пену снимают фракционно, по времени.

Схема и реагентный режим флотации хвостов Боргесай представлены на рисунке 12. В таблицах 4-8 показаны результаты флотационных опытов с различным количеством перечисток.

Таблица 4 – Результаты эксперимента по флотации лежалых хвостов участка Боргесай без перечистных операций

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
Концентрат	9,20	2,10	70,27
Хвосты	90,80	0,09	29,73
Итого	100,00	0,275	100,00

Таблица 5 – Результаты эксперимента по флотации лежалых хвостов участка Боргесай (1 перечистка)

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
К-т перечистки	7,10	2,50	67,39
Промпродукт 1	1,90	0,21	1,51
Хвосты	91	0,09	31,10
Итого	100,0	0,263	100,0

Таблица 6 – Результаты эксперимента по флотации лежалых хвостов участка Боргесай (2 перечистки)

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
К-т перечистки	2,70	6,70	65,56
Промпродукт 1	1,90	0,21	1,45
Промпродукт 2	2,40	0,50	4,35
Хвосты	93,00	0,09	28,65
Итого	100,00	0,28	100,00

Таблица 7 - Результаты эксперимента по флотации лежалых хвостов участка Боргесай после 3 перечистки

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
К-т перечистки	1,8	9,1	60,99
Промпродукт 1	1,9	0,15	1,06
Промпродукт 2	1,6	0,5	2,98
Промпродукт 3	1,7	0,6	3,80
Хвосты	93	0,09	31,17
Итого	100	0,26	100,00

Таблица 8 - Результаты эксперимента по флотации лежалых хвостов участка Боргесай с 4 перечистными операциями

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
К-т перечистки	1,30	12,00	57,86
Промпродукт 1	1,90	0,15	1,06
Промпродукт 2	1,60	0,50	2,97
Промпродукт 3	1,40	0,70	3,63
Промпродукт 4	1,40	0,70	3,63
Хвосты	92,40	0,09	30,84
Итого	100,00	0,26	100,00

Результаты флотационных опытов указывают на целесообразность использования 4 перечисток. По схеме (рисунок 12) включающей основную, контрольную и 4 перечистки возможно получение медного концентрата с содержанием меди в концентрате 4-ой перечистки 12,0% при извлечении 57,86%. Хвосты контрольной флотации с содержанием меди 0,09% являются отвальными, при этом потери меди составляют 30,84 %.

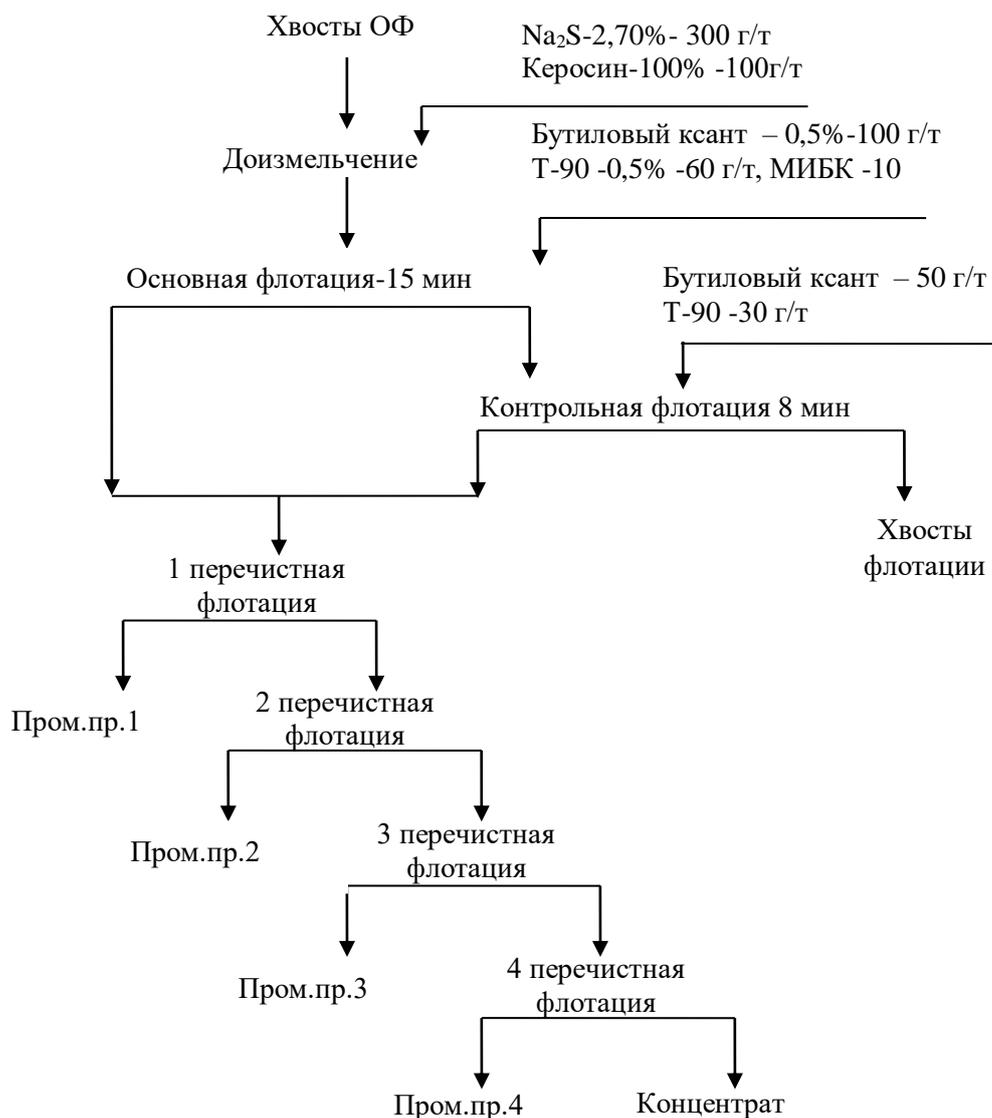


Рисунок 12 – Рекомендуемая схема флотации отвальных хвостов Жезказганской обогатительной фабрики

Результаты и основные оптимальные технологические параметры флотации медьсодержащих хвостов представлены в таблице 9. Полный химический анализ медного промпродукта представлен в таблице 10

Таблица 9 – Условия и результаты эксперимента по флотации лежалых хвостов участка Боргесай с 4 перечистными операциями

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
Условие: Измельчение-90-95% кл.-0,074+0мм; Реагенты: Na <sub>2</sub> S -2,7%- 300 г/т, керосин-100%- 100 г/т, бутиловый ксантогенат-0,5%-150 г/т, Т-90-0,5%-90 г/т, плотность пульпы-30% тв, время флотации: основной флотации - 15 мин, контрольной флотации -8 мин, 1 перечистка – 6 мин, 2 перечистка – 5 мин, 3 перечистка - 4 мин, 4 перечистка - 3 мин.			

Продолжение таблицы 9

К-т перечистки	1,30	12,00	57,86
Промпродукт 1	1,90	0,15	1,06
Промпродукт 2	1,60	0,50	2,97
Промпродукт 3	1,40	0,70	3,63
Промпродукт 4	1,40	0,70	3,63
Хвосты	92,40	0,09	30,84
Итого	100,00	0,26	100,00

Таблица 10 – Химический состав полученного медного промпродукта

Содержание, %	Cu	Pb	Zn	SiO <sub>2</sub>	Fe общ.,	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	S	Ag, г/т
Медный промпродукт	12,0	0,03	0,026	69,68	3,8	12,261	1,2	2,5	55,0

Таким образом, лабораторные исследования по флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики показали, что при крупности измельчения исходных хвостов участка Боргесай до 90-95 % класса крупности -0,074 мм по схеме, включающей основную, контрольную и четыре перечистки концентрата основной и контрольной флотации возможность получения медного концентрата с содержанием меди 12 %, при извлечении 57,86 %. Установлены следующие технологические показатели флотационного обогащения исходных хвостов участка Боргесай: измельчение-90-95% кл.-0,074+0 мм; расход реагентов: Na<sub>2</sub>S -2,7%- 300 г/т, керосин-100%- 100 г/т, бутиловый ксантогенат-0,5%-150 г/т, Т-90-0,5%-90 г/т, МИБК- 10г/т, плотность пульпы-30% тв, время флотации: основной флотации – 15 мин, контрольной флотации -8 мин, 1 перечистка – 6 мин, 2 перечистка – 5 мин, 3 перечистка - 4 мин, 4 перечистка - 3 мин. В результате проведенных флотационным методом опытов мы получили медный концентрат с содержанием меди 12% при извлечении 57,86%, который согласно техническим условиям 03-13-69 соответствует марке ППМ 8(промпродукт медный). Данный товарный продукт может быть направлен на гидрометаллургический способ переработки, либо использован в качестве флюса в процессе плавки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы:

1. Был проведен анализ переработки медьсодержащего техногенного сырья. К настоящему времени в РК накоплено более 22 млрд. тонн промышленных отходов, в их числе 230 миллионов тонн радиоактивных, при ежегодном поступлении около 1 млрд. тонн. Годовой объем образования токсичных отходов составляет 84,4 млн. тонн, из них 63% – отходы цветной металлургии. Они распределены по областям: в Карагандинской – 29,4%, Восточно-Казахстанской – 25,7%, Костанайской – 17% и Павлодарской – 14,6% областях. Анализ переработки руд показывает, что при флотационном обогащении руд цветных металлов до 80-90 % материала выделяется в виде хвостов, в которых теряется от 10 до 40 % металлов, извлеченных из недр, что приводит к ухудшению экологической обстановки. Хвосты различных флотационных фабрик содержат 0,1-0,4 % меди и свинца, 0,5-1,5 % цинка, 0,2-1,5 г/т и более золота.

2. Для исследования минералогического состава медьсодержащих хвостов был проведен атомно-эмиссионный качественный спектральный анализ на дифракционном спектрографе ДФС – 13, рентгенофазовый анализ проб медьсодержащих хвостов на аппарате D8 Advance (BRUKER), излучение  $\alpha$  – Cu, напряжение на трубке равно 40/40. Установлен фазовый состав с применением растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Пробы исследуемых хвостов проанализированы на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL.

3. Проведено исследование гранулометрического состава медьсодержащего техногенного сырья и распределения полезного компонента в нем по классам крупности. Результаты распределения меди и серебра по классам крупности свидетельствуют о том, что основное количество меди в старогодних хвостах Боргесай распределено в классе крупности +0,071 мм -64,68 %. В классах -0,05 + 0 мм содержание меди составляет ~0,37 % и серебра ~ 6,32 г/т.

4. Минерал кварц составляет основную часть руды – 65%, далее нерудные минералы, а именно альбит-6,8 %, кальцит-6,3 %, мусковит-3,2 % и др. Микроскопический анализ показал, что медные минералы представлены халькопиритом, ковеллином и борнитом и составляют десятые доли процента. Размеры рудных минералов меди составляют от тысячных до 0,02-0,07 мм в продольном сечении. Нерудные минералы содержат включения минералов меди в тонкодисперсном размере.

5. Лабораторные исследования по флотации медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики показали, что при крупности измельчения исходных хвостов участка Боргесай до 90-95 % класса крупности -0,074 мм по схеме, включающей основную, контрольную и четыре перечистки концентрата основной и контрольной флотации

возможность получения медного концентрата с содержанием меди 12 %, при извлечении 57,86 %. Установлены следующие технологические показатели флотационного обогащения исходных хвостов участка Боргесай: измельчение-90-95% кл.-0,074+0 мм; расход реагентов:  $\text{Na}_2\text{S}$  -2,7%- 300 г/т, керосин-100%- 100 г/т, бутиловый ксантогенат-0,5%-150 г/т, Т-90-0,5%-90 г/т, МИБК- 10г/т, плотность пульпы-30% тв, время флотации: основной флотации – 15 мин, контрольной флотации -8 мин, 1 перечистка – 6 мин, 2 перечистка – 5 мин, 3 перечистка - 4 мин, 4 перечистка - 3 мин.

6. В результате проведенных флотационным методом опытов мы получили медный концентрат с содержанием меди 12% при извлечении 57,86%, который согласно техническим условиям 03-13-69 соответствует марке ППМ 8 (промпродукт медный). Данный товарный продукт может быть направлен на гидрметаллургический способ переработки, либо использован в качестве флюса в процессе плавки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чантурия В.А., Корюкин Б.М. Анализ техногенного минерального сырья на Урале и перспективы его переработки. // Матер. Междунар. конф Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения), 6-10 июля 1998. Екатеринбург, УрО РАН, 1998.- С.26-34
2. Макавецкас А.Р., Башлыкова Т.В., Пахаомова Г.А. и др. Влияние кавитации на технологические свойства рудного и нерудного минерального сырья.- //Цветные металлы .-№2007 .- №3 -87-91
3. Интернет-ИА Новости Казахстан
4. Техногенные ресурсы и инновации в техноэкологии. / Под ред. Е.М. Шелкова, Г.Б. Мелентьева. – М: ОИВТ РАН, 2008. — С. 352.
5. Мелентьев Г.Б. Инновационный потенциал и оценка техногенных ресурсов. // Материалы Конгресса с международным участием и элементами школы молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований Техноген-2014», 2–6 июня 2014 г. – Екатеринбург: Институт металлургии УрО СО РАН, 2014. — С. 14–17.
6. Мелентьев Г.Б. Научно-методические основы и результаты комплексной оценки месторождений природного и техногенного сырья. // «Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья». // Материалы 2-го Всеросс. семинара по технологич. минералогии, 14–16 июня 2007 г., г. Петрозаводск. П.: Институт геологии КарНЦ РАН, 2007. — С. 35–58.
7. Техногенные месторождения – проблемы и перспективы вовлечения в хозяйственный оборот / Е.М. Аксенов, Р.К. Садыков, В.А. Алискеров [и др.] // Разведка и охрана недр. 2010. № 2. С. 17–20. 6. Комплексное устойчивое управление отходами.
8. Горнодобывающая промышленность: учебное пособие / В.И. Петухов и др.; под ред. В.И. Петухова. М.: Издат. дом Академии естествознания, 2016. 638 с
9. Федотов П.К., Петухов В.И., Федотов К.В., Бурдонов А.Е. Анализ направлений переработки лежалых хвостов Джидинского ВМК // Обогащение руд. 2016. № 1 (361). С. 40–46
10. Мелентьев Г.Б. Инновационная техноэкология и новые задачи технологической минералогии. // Экология промышленного производства. — 2009. — Вып. 2. — С. 40-51. — Вып. 3. — С. 13–29.
11. Флотация медно-цинковых руд Урала/ Л. Д. Кислякова, Г. В. Козлов, Ф. И. Нагирняк и др. М.: Недра, 1966. - 387 с.
12. Металлургические заводы Урала ХУ11-XX вв.: Энциклопедия. - Екатеринбург: Издательство «Академкнига», 2001. 536 с.
13. Musgrove Paul "Mining Technol and Poliey Issues, 1983, Sess, Pap. Mining Convent. Amer. Mining Congr. San Francisco, sept. 12-14, 1983" Washington. D. C. 1983,1-6.

14. Марголис Ф. Г. Производство комплексных удобрений. М.: Химия, 1968.-488 с.
15. Физико-химическая гидродинамика/ В. Г. Левич. М.: Физматгиз, 1959.-699 с.
16. Масляницкий Н. Н., Беликов В. В. Химические процессы в технологии переработки труднообогатимых руд. М.: Недра, 1986.
17. Шубов Л. Я., Иванков С. И. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья: Справочник. Т. 1/ Под ред. А. В. Кондратьева. - М.: Недра, 1990. - кн 1. - С. 291,298.
18. Сыромятникова Н.В. Юллаева Р.Л. Шадрунова И.В. Старостина Н.Н.
19. Кочнев И. Н., Моисеева А. В., Сидорова А. И. Спектр водных растворов мочевины в ближней "инфракрасной области/ В сб. Структура и роль воды в живом организме.
20. Способ подземного и кучного выщелачивания металлов: Патент 2116440 Россия, МПК6 E21B43/28/ Ю. И. Кондратьев, П. А. Воронин, М. И. Алкацев, Д. Ю. Кондратьев: Северо-Кавказский технологический университет.
21. Переработка техногенных образований Уральского региона//В.А.Мальцев, М.Г. Видуецкий, И.И. Ручкин, В.В.Клячин, С.Н.Литовских, К.А. Плеханов, Л.Д. Шевелева // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья: Материалы Междунар. Совещ. «Плаксинские чтения - 2002». Чита, 2002.-М.: П99. Изд-во ПКЦ «Альтекс», 2002.- С.4-6
22. Лещиков В.И., Мормилъ С.И., Шахов Н.М. и др. Техногенно-минеральные объекты Свердловской области. Состояние их изученности и промышленного использования // Изв. Вузов. Горный журнал. - 1997. - № 11-12. - С. 40-54
23. Маляров И.П., Сизиков А.В., Биишев Л.З. Разработка техногенных месторождений: Монография. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 145 с.
24. Мормилъ С.И., Амосов Л.А., Хасанов Г.Г. Минерально-сырьевая база техногенных образований Свердловской области: состояние и основные направления использования // Техногенез и технология: Информационно-тематический сборник (Под ред. А.Г.Талалая).- Екатеринбург: УГГА, 2002.- С.4-30
25. Данилов И.И., Смирнов Л.А., Лещиков В.И. Опыт утилизации техногенных образований в Свердловской области // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.- 2000.- № 5-6.- С.41-51
26. Проблемы техногенного преобразования недр Земли. Под редакцией академика РАН К.Н.Трубецкого, академика РАН В.А.Чантурия, член- корреспондента РАН Д.Р.Каплунова - М., 2007.- С.44-55
27. Снурников А.П. Комплексное использование минеральных ресурсов в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1986. – 384 с.

28. Основные тенденции в технике и технологии обогащения руд цветных металлов за рубежом / Давыдова Л.А., Таужнянская З.А., Синельникова Л.Н. и др.- М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1980.- 29 с.
29. Лапин Э.С. К проблеме использования отходов добычи и переработки руд // Изв. ВУЗов. Горный журнал.- 1994. № 4.- С. 116-121
30. Корюкин Б.М., Мещеряков Н.Ф. Направления развития обогащения медьсодержащего рудного сырья // Цветная металлургия.- 1996.- № 5-6.- С. 33-34
31. Зимин А.В., Арустамян М.А., Ягудин Р.А., Калинин Е.П., Хамидуллина Ф.Г. Совершенствование технологии обогащения медно-цинковых руд на обогатительной фабрике Учалинского горно-обогатительного комбината // Обогащение руд. - 2003. - № 1. - С. 14-16
32. Корюкин Б.М., Тарчевская И.Г. Утилизация старых отвальных хвостов обогащения медных руд./ 2-й Междунар.симп. "Проблемы комплексного использования руд"; С.-Пб., 20-24 мая 1996: Тез. докл.- С.-Пб., 1996.- С.302.
33. Борисков Ф.Ф. Роль гидрометаллургии в развитии новых методов переработки минерального сырья // Изв.вузов. Горный журнал. — 2001. - № 4-5. -С.104-117
34. Исследование возможности вовлечения во вторичную переработку старогодних хвостов обогатительной фабрики ЗАО «Бурибаевский ГОК». Отчет НИР/ООО «ТАИЛС КО».- Екатеринбург, 2005.- 42 с.
35. Бочаров В.А., Херсонская И.И., Агафонова Г.С., Лапшина Г.А. Перспективы переработки техногенного сырья // Цветная металлургия.- 1993. - № 8.- С. 11-12
36. Морозов Ю.П. Влияние пузырьков воздуха на вынос частиц в слив флотоклассификатора / Ю.П. Морозов, Н.В. Базуева // Известия вузов. Горный журнал. – № 5. – 1988. – С. 115-119.
37. Шохин, В.Н. Гравитационные методы обогащения. Учебник для ВУЗов. 2-е изд., перераб. и доп. / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра,1993. – 350 с.
38. Киреева О.В., Дресвянкина Т.П., Мамонов С.В. Роль процесса специального охлаждения шлака медеплавильного производства в технологии его переработки// Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» - Россия, г. Екатеринбург, 23-24 апреля 2014 г. – С. 174-177.
39. Снурников А.П. Гидрометаллургия цинка. - М.: -Металлургия, 1982, С.383 с.
40. Митрофанов С.И., Мещанинова В.И. и др. Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов. М., Недра, 1988. – с.230.

41. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы // Под ред. О.С. Богданова. - М.: Недра, 1982. 367 с.
42. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке // В.И.Ревновцев, Е.И. Азбель, Е.Г. Баранов и др. – М.: Недра, 1987.
43. Митрофанов С.И. Исследования полезных ископаемых на обогатимость // М.: Госгориздатель, 1962.
44. "Геологический словарь" в 2-х томах, М, 1978.
45. Митрофанов С.И. Исследования руд на обогатимость // М.: ГосНТиздат, 1954.
46. Moenke H. Mineralspektren, Acad. Verlag, Berlin, 1962, 394 S.
47. HR Minerals (600 spectra). Thermo Fisher Scientific Inc. for Nicolet FT-IR. 2008.
48. Теоретические основы создания инновационных технологий флотации. Часть VI. Теоретические основы повышения селективности действия реагентов-пенообразователей при флотации // А.А. Абрамов - «Цветные металлы» № 2, 2013.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Список опубликованных работ по теме магистерской диссертации:

1. Труды сатпаевских чтений инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии том 2, 2018 г - Проверка возможности доизвлечения марганца из техногенного сырья
2. «Обогащение руд» № 5, 2017 - Обжиг-магнитное обогащение марганецсодержащего техногенного сырья
3. 17<sup>th</sup> international multidisciplinary scientific geoconference SGEM, 2017 - Assesment of production of copper concentrate from technogenic raw materials