МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.7 На правах рукописи

Садык Бахыт

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации	Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды
Направление подготовки	6М073700-Обогащение полезных ископаемых

Научный руководитель:
Доктор технических наук ассоц. профессор_____Гусупбаев Н.К.
«___» _____ 2020г.

Рецензент:
Доктор технических наук, зав.лаб. пирометаллургии тяжёлых цветных металлов. АО «Институт металлургии и обогащения»
_____ Квятковский С.А.
___»_____2020г.

Нормоконтроль: Доктор PhD, ассистент профессор
_____Мотовилов И.Ю.
«___»_____2020г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
заведующая кафедрой МиОПИ, кандидат технических наук
_____М.Б.Барменшинова
«___»_____2020г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УТВЕРЖДАЮ
Заведующая кафедрой МиОПИ,
Кандидат технических наук
_____М.Б.Барменшинова
«___»_____2020г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертаций

Магистранту Садык Бахыту

Тема: Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды

Утверждена *приказом Ректора Университета №1202-М от «29» 10.* 2018г

Срок сдачи законченной диссертации *« 29 » 05.* 2020г

Исходные данные к магистерской диссертации: обогащения баритсодержащей руды

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) флотационное обогащение баритсодержащих руд;

б) методики исследований;

в) получение новых модифицированных флотореагентов и изучение их физико-химических свойств;

г) применение модифицированных флотореагентов при обогащении баритсодержащей руды.

Перечень графического материала: слайды

ГРАФИК

подготовка магистерской диссертации

Найменование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю и консультантам	Примечание
Введение	04.02.2019	
Аналитический обзор литературы	27.02.2019	
Методика исследований	21.06.2019	
Экспериментальная часть	07.10.2019	
Заключение	15.05.2020	

Подписи

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

Найменование раздела	Консультанты И.О.Ф (уч.степень,звание)	Дата подписания	подпись
Введение	Тусупбаев Н.К. д.т.н, ассоц. профессор	04.02.2019	
Аналитический обзор литературы		27.02.2019	
Методика исследований		21.06.2019	
Экспериментальная часть		07.10.2019	
Заключение		15.05.2020	
Нормоконтролер	Мотовилов И.Ю. Доктор PhD, ассистент профессор		

Научный руководитель _____ Тусупбаев Н.К

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Садык Б

Дата « » 2020г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATBAYEV UNIVERSITY

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию
(наименование вида работы)

Садык Бакыт
(Ф.И.О. обучающегося)

6М073700 - Обогащение полезных ископаемых
(шифр и название специальности)

Тема: «Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды»

Диссертационная работа Садык Бакыт посвящена вопросу, имеющему актуальное значение – разработка технологических решений по флотационной переработке баритсодержащих руд. Востребованность баритового концентрата, применяемого в основном, в качестве утяжелителя буровых растворов, делает экономически целесообразной переработку баритсодержащих руд.

Автором проведен анализ сырьевой базы свинец- и баритсодержащих руд, анализ технологий их переработки в Казахстане и зарубежных странах. Исследованы физико-химические свойства баритсодержащей руды, установлен минеральный состав, гранулометрический состав. Полученные результаты распределения свинца и барита по классам крупности указывают на то, что основное количество основное количество свинца (83,41 %) и барита (68,1 %) находится в классе крупнее 0,2 мм.

Новизной диссертации является флотационный способ обогащения баритсодержащей руды месторождения Алашпай с использованием в качестве собирателя модифицированного реагента, проверка возможности доизвлечения барита в баритовый концентрат. Использование модифицированного реагента на основе соапстока позволило получить баритовый концентрат с содержанием барита 69,3 % при извлечении 95,33 %, что на 4,2 % выше в сравнении с результатами флотации руды с использованием олеиновой кислоты в качестве собирателя.

Конечным результатом исследования стала технология флотационной переработки баритсодержащей руды с получением баритового концентрата, который может быть направлен на дальнейшую переработку.

Магистрантом в соавторстве с научным руководителем опубликованы:

1. Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Сатыханова А., Садык Б. Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды // XXIV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 9-12 апреля 2019.- С.293-296.

2 Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Мусина М.М., Садык Б. Флотационное обогащение баритсодержащей руды // XXV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 07-10 апреля 2020.- С.142-145.

Магистерская работа по объему, качеству проведенных исследований соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, а автор Садык Бакыт заслуживает ученой степени магистра по специальности 6М073700 – Обогащение полезных ископаемых.

Научный руководитель
Д.т.н., гл.науч. сотр. АО «ИМиО» _____ Тусупбаев Н.К.
(учеоная степень, занимаемая должность) (подпись) (фамилия, имя, отчество)

«29» 06 2020г.

Құжаттар мен кадрлармен жұмыс Департаменті

Көшірмесі/подпись
растаймын / заверяю
Ғылыми хатшы / Ученый секретарь
«Металлургия және кен байыту институты» АҚ
«29» 06 2020 ж.

Ф КазНИТУ 706-17. Отзыв

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATBAYEV UNIVERSITY

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию Садык Бахыт 6М073700 - Обогащение полезных ископаемых на тему: «Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды».

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

Соискателем проведены исследования по флотационному обогащению баритсодержащей руды. Работа Садык Б. выполнена на актуальную тему, поскольку в настоящее время существует необходимость комплексной переработки труднообогатимых руд. Выполнен анализ передовых технологий обогащения свинец- и баритсодержащих руд в Казахстане и зарубежных странах. Изучен вещественный и минералогический состав баритсодержащей руды, гранулометрический состав и характер распределения свинца и барита. По результатам анализа минералогического состава, структуры руды и размеров вкраплений полезных компонентов определены оптимальные параметры флотационного обогащения баритсодержащей руды. Разработана эффективная технология флотационного обогащения баритсодержащей руды с применением новых модифицированных флотореагентов, позволяющих улучшить технологические показатели флотации в сравнении с базовым реагентным режимом. Извлечение барита в баритовый концентрат, полученный в замкнутом цикле с применением модифицированного собирателя, по сравнению с применением олеиновой кислоты, увеличивается примерно на 4,2 % (с 91,13 до 95,33 %). Расход модифицированного собирателя по сравнению с олеиновой кислотой уменьшается на 200 г/т.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в материалах научно-технических конференций:

- Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Сатыханова А., Садык Б. Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды //XXIV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 9-12 апреля 2019.- С.293-296.
- Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Мусина М.М., Садык Б. Флотационное обогащение баритсодержащей руды // XXV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 07-10 апреля 2020.- С. 142-145.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Проделан большой объем магистерской работы. Однако по работе можно сделать следующее замечание: получены недостаточно высокие показатели свинцового цикла флотации (свинцовый концентрат с содержанием свинца 11,2 % при извлечении 24,19 % с применением модифицированного ксантогената). Было бы целесообразно привести примеры других методов обогащения содержащих свинец минералов с получением качественного концентрата.

Оценка работы

В целом, работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям и заслуживает оценки 95 % («отлично»). Магистрант Садык Бакыт заслуживает присуждения степени магистра по специальности 6М073700 - Обогащение полезных ископаемых.

Рецензент

Д.т.н., зав. лабораторией пирометаллургии тяжёлых цветных металлов АО «ИМиО» _____ **С.А.** Квятковский

«_____»_____2020г.

Құқық және кадрлармен жұмыс Департаменті

растаймын / заверяю
Ғылыми хатшы / Ученый секретарь
«Металлургия және кен байыту институты» АҚ
«_____»_____20_____ж.

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: Садык Бахыт

Название: Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды

Координатор: Несипбай Тусупбаев

Коэффициент подобия 1:14,9

Коэффициент подобия 2:9,8

Замена букв:30

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

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:
Работа выполнена добросовестно и не обладает признаками плагиата.

03.07.2020 г.

Дата

Барменшинова М.Б.

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Магистерская диссертация на тему „Определение оптимальных параметров флотационного обогащения бритсодержащей руды" выполнена самостоятельно, добросовестно и не обладает признаками плагиата.

Допуск к защите

Барменшинова М.Б.

03.07.2020

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

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: Садык Бахыт

Название: Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды

Координатор:Несипбай Тусупбаев

Коэффициент подобия 1:14,9

Коэффициент подобия 2:9,8

Замена букв:30

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки: 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 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:

……

…… ……

Дата *Подпись Научного руководителя*

АҢДАТПА

Магистерлік жұмыста жаңа отандық реагенттерді қолдана отырып қиынбайытылатынбаритқұрамды кендерден пайдалы компоненттерді флотацияны қодану арқылы бөліп алудың тиімді әдістерін өңдеу жүргізілді.

Сульфидті-барит кенінің кенорындары жайлы аналитикалық деректер жүргізілді. Қорғасын және баритқұрамды кендердің байыту технологиясына талдау жасалынды. Майдасеппелі және кешенді кендерден баритті бөліп алу үшін, байытудың негізгі әдісі флотация болып табылады.

Алашпай кенорнындағы қорғасын-барит кендерінің заттық құрамы зерделенді. Минералогиялық, химиялық, спектральдық және рентгенді-фазалық талдау жұмыстары жасалынды. Зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша, бастапқы кеннің сынамасын, сульфидизатор ретінде натрий сульфиді мен жыйнағыш ретінде бутилді ксантогенаттың үлкен шығынына қарамастан, қорғасын флотациясы қиынырақ болды, өйткені, қорғасын минералы англезит PbSO4 түрінде кездеседі, ол ИҚ- спектрлік талдаумен дәлелденеді. Қорғасынның осындай түрінде байланысты, қорғасынды бөліп алу үшін гравитациялық әдістерді (ауыр ортада, жыйнағыш столда және ортадан тепкіш күш қондырғыларында) қолдану ұсынылады. Бастапқы кеннен алынған сынамдағы зерттеу нәтижелері, барит цикліне жыйнағыш ретінде олейн қышқылын қолдана отырып, барит концентраты алынды. Ондағы бариттің үлесі 61,3 % болғанда, оның бөліп алу дәрежесі 69,65 %. Ал баритолды қолданғанда барит концентратындағы бариттің үлесі 66,31 % болғандағы, оның бөліп алу дәрежесі 80,3 %. Демек, баритол концентраттағы бариттің үлесін 6 %-ға, ал бөліп алу дәрежесін 10,65 % -ға жоғарылатады.

Базалық және көпфункционалды флотореагенттерді қолдана отырып, Тишинск кенорнындағы сульфидті көпметалды кендердің флотациясының технологиялық режимі өңделініп жүргізілді. Базалық режиммен салыстырғанда, бірікті мыс-қорғасын концентратындағы мыстың бөліп алу дәрежесі 4,1 %-ға, қорғасындыкі-4,8 %-ға жоғарлатты.

Әртүрлі жағдайда, эклолгиялық қауіпсіз көпфункциональды флотореагенттерді қолдана отырып, Жезқазған байыту фабрикасының флотациялық қалдықтарын байытудың технологиялық режимі өңделініп жүргізілді. Зерттеу нәтижелерімен, көпфункциональды реагенттің оңтайлы шығыны 75 г/т болып табылатындығы көрсетілді.

Жезқазған мыс байыту фабрикасының қалдықтарынның флотациясына көпфункциональды реагентті қолданғанда, ол мыс концентратының сапасын жоғарылатады.

Мыс-мырыш-пирит бірікті концентраттарын сапалы бөліп алуды жасалған флотациялық реагенттік таңдамалы режим мен технологиялық сұлба қамтамасыз етеді.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской работе проведена разработка методов, повышающих эффективность применения флотации для извлечения ценных компонентов из труднообогатимых баритсодержащих руд с использованием новых отечественных реагентов.

Проведен аналитический обзор по месторождениям сульфидно-баритовых руд. Сделан анализ технологий обогащения свинец- и баритсодержащих руд. Основным методом обогащения для извлечения барита из тонковкрапленных и комплексных руд является флотация.

Изучен вещественный состав свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай. Сделаны минералогический, химический, спектральный и рентгено-фазовый анализы. Из результатов проведенных исследований следует, что, для данной пробы руды, несмотря на большой расход сульфидизатора сульфида натрия и собирателя бутилового ксантогената, флотация свинца затруднена из-за того, что свинцовый минерал находится в виде англезита $PbSO_4$, что подтверждается ИК-спектроскопическим анализом. При такой форме содержания свинца рекомендуются исследования по гравитационному способу извлечения свинца (тяжелые среды, концентрационный стол, центробежное оборудование). В результате проведенных исследований по баритовому циклу для данной пробы руды показано, что при использовании в качестве собирателя барита олеиновой кислоты получен баритовый концентрат с содержанием барита 61,3 % при извлечении 69,65 %. При использовании баритола получен баритовый концентрат с содержанием барита 66,31 % при извлечении 80,3 %. Баритол позволяет увеличить содержание барита в концентрате на 6 %, извлечение барита в баритовый концентрат повышается на 10,65 %.

ABSTRACT

This work covers development of methods, which improve efficiency of applying flotation to extract valuable components from poor polymetallic sulfide ores using new domestic reagents.

Also, in this work was carried an analytical review out of the sulfide-barite ores deposits. The analysis of technologies for the enrichment of lead and barite ores is made. The main enrichment method for the extraction of barite from thin impregnation and complex ores is flotation. The material composition of lead-barite ore of the Alashpay deposit was studied. There were made mineralogical, chemical, spectral and X-ray phase analysis. From the results of the studies it follows that, for this ore sample, despite the high consumption of sodium sulfide sulphidizer and collector of butyl xanthate, lead flotation is difficult due to the fact that the lead mineral is in the form of PbSO4 anglesite, which is confirmed by IR spectroscopic analysis. With this form of lead content, research is recommended to be carried out on the gravitational method for extracting lead (heavy media, concentration table, centrifugal equipment). As a result of studies on the barite cycle for this ore sample, it was shown that when using oleic acid as a barite collector, a barite concentrate with a barite content of 61.3% was obtained with a recovery of 69.65%. Using baritol, a barite concentrate with a barite content of 66.31% was obtained with extraction of 80.3%. Baritol allows to increasing the barite content in the concentrate by 6%, the extraction of barite in barite concentrate increases by 10.65%.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 8
1 Современное состояние и основные проблемы в области флотационного обогащения баритсодержащих руд 10
1.1 Основные минералы бария и классификация баритсодержащих руд 10
1.2 Флотационное обогащение баритсодержащих руд 16
1.3 Реагенты-собиратели для баритсодержащих руд 21
Выводы 1 разделу 23
2 Получение модифицированных флотореагентов и изучение их физико-химических свойств 24
2.1 Получение модифицированного ксантогената и изучение его состава 24
2.2 Получение модифицированного флотореагента и изучение его свойств 25
Выводы 2 разделу 28
3 Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды 30
3.1 Изучение вещественного состава баритсодержащей руды месторождения Алашпай 30
3.2 Гранулометрический анализ пробы руды месторождения Алашпай 38
3.3 Отработка технологических режимов свинцового и баритового циклов флотации баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением базовых реагентов 41
3.4 Отработка технологических режимов флотации баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением модифицированных флотореагентов 45
3.4.1 Отработка технологических режимов флотации свинцового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированного реагентов 45
3.4.2 Отработка технологических режимов флотации баритового цикла руды месторожденияАлашпай с применением базовых и модифицированных реагентов 49
3.5 Укрупненно-лабораторные испытания флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированного реагентов 54
Выводы по 3 разделу 56
Заключение 58
Список использованной литературы 59
Приложение А 62
Приожение Б 63

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы. Современное состояние горнодобывающей промышленности Казахстана характеризуется снижением темпов развития минерально-сырьевой базы, истощением разрабатываемых месторождений, ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений.

Казахстан по запасам барита в недрах и по производству баритового концентрата занимает ведущее место среди стран СНГ, а при условии наращивания его добычи может войти в число ведущих стран мира по выпуску этого вида сырья [1]. В Казахстане переработкой сульфидно-баритовых руд занимаются Иртышский полиметаллический комбинат, Текелийский свинцово-цинковый комбинат, Карагайлинский и Жайремский горно-обогатительные комбинаты и АО «Ачполиметалл». За последние 4-5 лет извлечение барита в концентрат на этих предприятиях заметно повысилось. Однако наиболее высококачественный баритовый концентрат, содержащий 95% $BaSO_4$, получают при переработке руд собственно баритового месторождения Чиганак на юге страны.

В зависимости от содержания сульфата бария, оксида кремния, водорастворимых солей, степени измельчения, влажности и ряда других параметров и компонентов выделяется 6 марок баритового концентрата: КБ-1 ($BaSO_4$ не менее 95%); КБ-2 (не менее 92%); КБ-3 (не менее 90%); КБ-4 (не менее 87%); КБ-5 (не менее 85%); КБ-6 (не менее 80%). В классе "А" выделяются все марки, в классе "В" - только три: КБ-3, КБ-5, КБ-6.

Казахстан входит в десятку стран-производителей баритовой руды и обогащенного концентрата. Баритовый концентрат, используемый при буровых работах, производится всего в нескольких странах. Значительные запасы баритовых руд содержит в себе земля пустыни Мойынкумов.

Проблема поиска эффективных реагентов - собирателей, способных достойно заменить традиционные дорогостоящие реагенты - олеиновую кислоту, баритол, аспарал и т.д., существует на протяжении нескольких десятилетий и до сих пор полностью не решена. Проведено много исследований в теории и практике флотационного обогащения несульфидных руд.

Обоснование необходимости проведения НИР.

Полученные в ходе выполнения проекта результаты позволят разработать эффективную технологию обогащения баритсодержащей (свинцово-баритовой) руды месторождения Алашпай с применением новых модифицированных флотореагентов. Разработанная технология обеспечит высокие технологические показатели по извлечению полезных компонентов и качеству получаемых концентратов. Внедрение эффективной и экологически безопасной технологии переработки руды месторождения Алашпай позволит вовлечь в производство новые источники свинцового и

баритового сырья, создать дополнительные рабочие места, улучшить экологическую обстановку на горно-обогатительных предприятиях.

Данная технология может быть адаптирована для обогащения свинцово-баритовых руд других месторождений.

Актуальность работы. Увеличение объемов добычи и переработки возможно лишь за счет освоения новых месторождений и вовлечения в комплексную переработку труднообогатимых руд, для переработки которых необходимо создание реагентных режимов с применением новых флотореагентов.

Актуальность проекта заключается в том, что будет разработана комбинированная схема обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением высококачественных свинцового и баритового концентратов.Внедрение разработанной экологически безопасной технологии переработки руды месторождения Алашпай позволит вовлечь в производство новые источники свинцового и баритового сырья, создать дополнительные рабочие места, улучшить условия труда. Результаты, полученные при выполнении данного проекта, позволят разработать эффективную конкурентоспособную технологию обогащения свинцово-баритовой руды нового месторождения Алашпай, которая будет способствовать повышению извлечения полезных компонентов и улучшению качества получаемых концентратов.

Научная новизна. Увеличение объемов добычи и переработки руды возможно за счет освоения новых месторождений, для переработки которых необходимо создание усовершенствованных технологических режимов обогащения. В частности, предлагается комбинированная многостадиальная гравитационно-флотационная схема обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением высококачественных свинцового и баритового концентратов. Данный проект обладает новизной и практической значимостью. Научная новизна исследований заключается в изучении влияния модифицированных флотореагентов на флотацию свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай.

Цели и задачи работы. Целью исследований является определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды и разработка на основе исследований технологии обогащения баритсодержащей руды месторождения Алашпай. В задачи исследований входят:

- анализ передовых технологий обогащения свинец- и баритсодержащих руд.
- изучение вещественного состава свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай.
- отработаны технологические режимы флотации свинцового и баритового циклов руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированных реагентов.

1 Современное состояние и основные проблемы в области флотационного обогащения баритсодержащих руд

1.1 Основные минералы бария и классификация баритсодержащих руд

Современное состояние технологии и техники обогащения позволяет вовлекать в переработку все новые виды минерального сырья, содержание в котором цветных и особенно редких металлов находится часто на грани рентабельности и требует применения более совершенных технологических процессов и схем, оборудования, методов контроля. Осваиваются новые виды полезных ископаемых и техногенного сырья, повышается извлечение из них ценных компонентов. Развитие мировой экономики постоянно сопровождается ростом потребления различных видов минерального сырья.

Обогащение баритовых руд заключается в отделении барита от сопутствующих примесей. В зависимости от свойств руды для достижения этой цели применяют различные методы [20]. Удаление глинистых и охристых примазок достигается промывкой руды. Для более тщательной очистки барита от окрашиваемых примесей его обрабатывают растворами минеральных кислот (чаще всего соляной и серной). Отделение барита от сравнительно крупных включений кварца и кальцита вследствие достаточной разницы в плотности легко осуществляется гравитационными методами обогащения. С помощью этих же методов легко отделить от барита галенит, значительно отличающийся от него по плотности. Для сравнительно крупного материала применяют отсадку, для более мелкого – концентрацию на столах.

Барит – минерал, представляющий собой сульфат бария ($BaSO_4$). В отдельных разновидностях барий частично замещается стронцием (баритоцелестин, целестобарит), свинцом (хокутолит, англезитобарит), кальцием (кальцитобарит). Кристаллы барита таблитчатые или призматические; цвет белый, серый, розовый, желтый, бурый в зависимости от примесей (оксиды железа и марганца, сульфиды цветных металлов и железа, глинистое и органическое вещество). Белизна высокосортного барита достигает 98 %. Изредка встречаются прозрачные кристаллы оптического барита. Барит обычно развит в виде агрегатов – зернистых, пластинчатых, лучисто- и столбчато-волокнистых.

Витерит – минерал, представляющий собой карбонат бария ($BaCO_3$), его кристаллы короткопризматические, таблитчатые, дипирамидальные; цвет от белого до желтого. Витерит образует зернистые, столбчатые, почковидные, волокнистые и листоватые агрегаты.

Физические свойства барита и витерита сходны, химические – резко различаются. Плотность этих минералов колеблется в пределах 4,3–4,6 г/см^3, твердость 2,5–3,5 (барит несколько уступает витериту по твердости). Оба минерала обладают стеклянным блеском, переходящим в смолянистый.

Барит отличается высокой химической стойкостью, практически нерастворим в воде, слабых кислотах и органических соединениях. Витерит неустойчив в кислотах и довольно быстро растворяется даже в воде.

Список минералов, встречающихся в рудах баритовых месторождений, в той или иной степени влияющих на получение баритового концентрата, насчитывает более 60 наименований. Из нерудных к ним относятся кварц, доломит, кальцит и флюорит, из рудных – минералы железа (пирит, магнетит, гематит, сидерит, лимонит), свинца (галенит, церуссит, англезит), цинка (сфалерит, смитсонит), меди (халькопирит, халькозин, борнит, куприт, ковеллин), серебра (аргентит, штроймейерит, самородное серебро), а также самородное золото.

Барит используется по трем основным направлениям: для производства утяжелителя глинистых растворов при бурении нефтяных и газовых скважин (более 75 %), в качестве инертных и слабоактивных наполнителей (16–18 %) и сырья в производстве бариевых соединений (6–8 %). В качестве инертного тяжелого наполнителя он применяется в специальной резине, при производстве пластмасс, некоторых сортов бумаги, в асботехнических изделиях, цементе и различных строительных материалах, а также в красках, лаках и эмалях (главным образом, для изготовления литопона). Способность барита поглощать радиоактивные излучения (включая рентгеновские лучи) позволяет использовать содержащие его материалы в рентгенотехнике. Прозрачные бесцветные кристаллы барита применяются как оптическое сырье. Барит и витерит представляют собой единственное сырье для получения соединений бария, используемых в химической промышленности, пиротехнике, при металлообработке, в машиностроении и других областях народного хозяйства.

В настоящее время структура потребления барита изменяется, что связано с внедрением в электроэнергетике барийсодержащей керамики, обладающей сверхпроводимостью при высоких температурах, а также ростом ядерной энергетики и сокращением ядерных вооружений, поскольку барит – наиболее дешевый компонент защитных установок и сооружений.

Витерит может применяться как сырье для производства бариевых соединений, прежде всего (после очистки) технического углекислого бария. Из-за легкой растворимости витерит в качестве утяжелителя непригоден.

Барит и витерит в природе встречаются совместно, причем витерит имеет, как правило, подчиненное значение. Обычно он присутствует в баритовых рудах в виде незначительных примесей, но иногда его содержание достигает 30–45 % (месторождения Сеттлингстон, Моррисон и Лонгалеутв Великобритании, Арпакленское и Елысу в Туркмении). Месторождения СНГ, в рудах которых содержания витерита были значительными, отработаны.

Обладающий высокой химической стойкостью барит хорошо сохраняется в зоне выветривания (витерит в этих условиях быстро разлагается), но при последующем перемещении по склону в связи с

невысокой твердостью быстро разрушается и рассеивается. Это обусловливает возможность формирования залежей барита (баритовой сыпучки, баритовых песков), а также элювиальных и иногда склоновых (делювиальных) россыпей в зоне выветривания баритосодержащих руд и пород (Медведевское месторождение в России). Россыпи более дальнего сноса не образуются.

Месторождения барита по генезису разделяются на гидротермальные, карбонатитовые, осадочные и остаточные. Витерит присутствует лишь в гидротермальных месторождениях. Среди гидротермальных месторождений выделяются жильные и метасоматические; иногда жилы и метасоматические залежи барита встречаются совместно в пределах одного рудного поля или даже месторождения.

Жильные месторождения представлены жилами или, реже, линзообразными телами, выполняющими трещины. Жилы имеют преимущественно крутое падение, невыдержанную мощность и сложную морфологию. Они часто ветвятся, образуя апофизы, распадаются на две или несколько параллельных жил. В пределах жил обычно наблюдается чередование раздувов, в которых мощность достигает 5–10 м и более, и пережимов, где барит полностью замещается кварцем, кальцитом или сменяется участками, заполненными глиной [21].

Для месторождений этого типа характерно наличие одиночных протяженных жил (длиной по простиранию и падению в сотни метров, иногда в 1–2 км) или серии (10–20) коротких жил (десятки метров по падению и простиранию), расположенных цепочкой или кулисообразно. Нередко встречаются баритовые брекчии, представленные обломочным материалом, сцементированным баритом. Состав руд жильных месторождений изменяется в широких пределах. Встречаются руды как с низким содержанием барита (несколько процентов), так и почти мономинеральные. В рудах обычно присутствуют кварц и кальцит, количество которых меняется в очень широких пределах (нередко они почти полностью заполняют отдельные участки баритовых жил), часто флюорит (его содержание иногда выше, чем барита), сульфиды цинка, свинца, железа, меди и других металлов. На ряде месторождений в отдельных жилах или участках жил сульфиды металлов составляют основную ценность руд, а барит представляет попутный компонент. Витерит в значительных количествах содержится только в рудах жильных месторождений. Месторождения жильного типа в ряде стран (Россия, Казахстан, Италия, Греция, Великобритания) являются главным источником получения барита. Особую ценность представляют жильные месторождения с высоким содержанием барита (иногда с практически мономинеральными баритовыми рудами), которые могут использоваться в большинстве отраслей промышленности без обогащения.

Наиболее типичны жильные месторождения Беганьское (Украина), Джалаирское, Бадамское, Тукжское (Казахстан), Чордское, Апшринское и месторождения Кутаисской группы (Грузия).

Метасоматические месторождения содержат линзообразные или пластообразные тела баритовых руд, нередко залегающие согласно с вмещающими породами. В рудах многих метасоматических месторождений присутствуют сульфиды свинца, цинка, меди, железа и других металлов. Нередко сульфиды металлов являются главной ценностью.

Осадочные месторождения барита представлены залежами, согласными с вмещающими породами. Наряду с баритом нередко присутствуют марганцевые минералы. Барит иногда содержит органические вещества, окрашивающие его в черный цвет. Однако осадочное происхождение некоторых месторождений спорно. К месторождениям этого типа относится ряд месторождений в штатах Арканзас и Невада (около 40 % всех запасов барита США), в СНГ – Чиганакское месторождение (Казахстан).

Остаточные месторождения барита представляют собой элювиальные и, реже, склоновые россыпи, сложенные глинами, песками и суглинками, содержащими обломки барита. В связи с легкой обогатимостью эти руды, несмотря на невысокое содержание барита (15–30 %), имеют промышленное значение. В США в остаточных месторождениях (в штатах Миссури, Теннесси и Джорджия) заключено почти 40 % всех запасов барита. В СНГ самостоятельных месторождений этого типа не выявлено, известны отдельные россыпи на Медведевском (Россия) и Джалаирском (Казахстан) месторождениях.

Карбонатитовые месторождения, руды которых характеризуются значительным содержанием барита, в СНГ неизвестны. В рудах некоторых карбонатитовых месторождений США содержание барита составляет 10–30 %, достигая 50 %. При извлечении из этих руд редкоземельных элементов попутно получается баритовый концентрат.

Баритовые руды по минеральному составу подразделяются на существенно баритовые (в том числе барит-витеритовые), кварц-баритовые (в том числе с витеритом), кальцит-баритовые, флюорит-баритовые, сульфидно-баритовые, железо-баритовые, железо-флюоритовые, а также глинисто- и песчано-баритовые.

Существенно-баритовые руды в основном состоят из барита, совместно с которым на некоторых месторождениях присутствует витерит. Другие минералы (кварц, кальцит, оксиды железа, сульфиды металлов и др.) содержатся в незначительных количествах. Эти руды развиты преимущественно на гидротермальных месторождениях, иногда слагая самостоятельные тела, но чаще постепенно переходят в кварц-, кальцит-, флюорит- и сульфидно-баритовые руды.

Руды этого типа преобладают на гидротермальных месторождениях Кутаисской группы (Грузия), Кентобе, Жуманай и осадочном Чиганакском месторождении (Казахстан). Они встречаются также в коре выветривания

месторождений Ушкатын III и Жайрем (где они постепенно переходят в песчано- и глинисто-баритовые руды).

В кварц-баритовых рудах наряду с баритом присутствует значительное количество (30-45 %) неравномерно распределенного кварца, в кальцит-баритовых – кальцита (до 70 %). Другие минералы (оксиды железа, сульфиды металлов и др.) содержатся в небольших количествах. Эти руды (наряду с существенно-баритовыми) развиты на гидротермальных месторождениях Грузии (Чордское) и Казахстана (Кентобе и Джалаирское). Кварц- и кальцит-баритовые руды нередко чередуются с сульфидно-баритовыми, иногда переходят в чисто кварц, кальцитовые, кварц-кальцитовые жилы или образуют самостоятельные тела.

Кварц-баритовые (кремнисто-баритовые) руды Чиганакского месторождения представляют собой тонкое переслаивание существенно-баритовых руд и прослоев кремнистых пород (яшм).

Флюорит-баритовые руды сложены в основном баритом и флюоритом, обычно присутствуют также кварц и кальцит, нередко – сульфиды свинца, цинка, меди и других металлов. Руды этого типа сравнительно редки. В значительных количествах они были развиты на отработанных месторождениях Бадам (Казахстан) и Агата-Чибаргатинском (Узбекистан); установлены они также и на некоторых месторождениях плавиковошпатовых руд (Наугарзан и др., Узбекистан).

Железо-флюорит-редкоземельно-баритовые руды сложены преимущественно баритом, флюоритом, магнетитом и гематитом (последние в зоне выветривания замещаются гётитом и гидрогётитом). Присутствуют также редкоземельные минералы, кальцит, доломит и кварц. Эти руды развиты на Карасукском месторождении в Туве.

Песчано- и глинисто-баритовые руды представляют собой продукты выветривания (иногда перемещенные по склону) первичных баритовых и баритсодержащих руд, а также баритоносных пород. Они слагаются обломками барита и вмещающих пород, заключенными среди глин, суглинков или песчаного материала. Среди обломков часто встречается практически мономинеральный барит, иногда покрытый корочкой («рубашкой») оксидов железа. Качество барита этих руд по сравнению с баритом исходных (первичных) руд часто выше, так как многие вредные примеси (карбонаты, сульфиды металлов) почти полностью выщелочены.

Руды этого типа известны на Джалаирском и Медведевском месторождениях, где они слагают отдельные россыпи, и в коре выветривания барит-полиметаллических месторождений Жайрем и Ушкатын III (Казахстан), где образуют крупные скопления. В небольших количествах эти руды довольно часто присутствуют в «железных шляпах» медноколчеданных и полиметаллических колчеданных месторождений (баритоваясыпучка).

Месторождения, в рудах которых барит имеет промышленное значение, подразделяются на собственно баритовые и комплексные. К собственно баритовым относятся месторождения, в рудах которых барит

является основным компонентом, определяющим промышленную ценность этих руд. Собственно баритовые месторождения слагаются существенно-баритовыми, а также кварц- и кальцит-баритовыми рудами. Иногда в их пределах развиты сульфидно-баритовые, реже флюорит-баритовые руды [22].

Содержание барита в рудах собственно баритовых месторождений колеблется в широких пределах (23–85 %). Нередко встречаются практически мономинеральные разности. Собственно баритовые месторождения представляют собой основной источник получения высококачественного барита, используемого в качестве утяжелителей и наполнителя в лаках и красках, а также для производства бариевых соединений.

По запасам руд (в млн. т) собственно баритовые месторождения подразделяются на весьма крупные (более 5), крупные (0,5–5), средние (0,1–0,5) и мелкие (менее 0,1).

К комплексным относятся барит-полиметаллические, флюорит-баритовые и комплексные железо-флюорит-редкоземельно-баритовые месторождения, при переработке руд которых барит может попутно извлекаться в собственный концентрат.

Основное значение среди них имеют барит-полиметаллические месторождения. В пределах этих месторождений, представленных сульфидно-баритовыми рудами, нередко встречаются самостоятельные тела или части этих тел, сложенные существенно баритовыми рудами (Кварцитовая сопка). В зоне выветривания нередко сосредоточены крупные запасы остаточных (песчано- и глинисто-баритовых) руд.

Содержание барита в сульфидно-баритовых рудах обычно составляет 5–20 %, иногда 40–70 %, в самостоятельных телах существенно баритовых руд часто превышает 70 %, иногда достигая 90 %. Минеральная ассоциация представлена кроме барита сульфидами свинца, цинка, железа, меди, в ряде случаев присутствуют благородные металлы (Au, Ag) в количестве достаточном для попутного извлечения, а нерудный комплекс сложен кварцем, кальцитом, доломитом, хлоритом, измененными полевыми шпатами, иногда флюоритом.

Баритовые концентраты, получаемые из этих руд, применяются главным образом в качестве утяжелителей буровых растворов.

Комплексные железо-флюорит-редкоземельно-баритовые месторождения, хотя и обладают большими запасами барита, но не играют заметной роли в его получении. Единственное Карасукское месторождение в связи с низкими технико-экономическими показателями промышленностью не осваивается.

По запасам барита (в млн. т) комплексные месторождения подразделяются на весьма крупные (более 20), крупные (от 10 до 20), средние (от 1 до 10) и мелкие (менее 1).

Дополнительным источником получения барита могут быть хвосты обогатительных фабрик, ранее перерабатывавших руды барит-полиметаллических месторождений без извлечения барита (например, в Салаирском рудоуправлении). Не исключена возможность экономически выгодного извлечения барита из буровых растворов после бурения скважин, что уже практикуется в США.

Баритовые и витеритовые руды, как правило, требуют обогащения. Богатые существенно-баритовые руды обычно обогащаются промывкой и ручной сортировкой, а в некоторых случаях используются без предварительного обогащения. Наиболее легко обогащаются песчано-глинисто-баритовые руды элювиальных россыпей: барит может быть получен после промывки и сортировки. Основная масса существенно-баритовых, кварц- и кальцит-баритовых руд обогащается методами гравитации с применением процессов обогащения в тяжелых суспензиях, отсадки и концентрации на столах или шлюзах мелких классов –0,5 мм. Схемы обогащения стадиальные в зависимости от текстурно-структурных особенностей руд.

1.2 Флотационное обогащение баритсодержащих руд

Основным методом обогащения для извлечения барита из тонковкрапленных и комплексных руд является флотация [9]. Барит относится к легкофлотируемым минералам с применением в качестве собирателей карбоновых кислот, алкилсульфатов, а также катионных реагентов. При переработке сульфидно-баритовых руд – основного источника получения барита в России – баритовый концентрат получают из хвостов флотации сульфидов. Схема обогащения при тонине помола руды 65–90 % –0,074 мм включает основную, две–четыре перечистные и контрольную операции, для каждой из которых характерен свой набор и расход реагентов (баритол, олеиновая кислота, таловое масло, оксаль П-80, сосновое масло, жидкое стекло, кальцинированная сода, известь).

Комплексные флюорит-баритовые руды также обогащаются по флотационной технологии как с последовательной селекцией флюорита и барита, так и наоборот (подавители барита – крахмал, фторид натрия, лигносульфонаты, бихромат калия). Железобаритовые руды перерабатываются по комбинированной магнитно-флотационной технологии обогащения [21,23].

Для повышения качества конечной продукции иногда применяются другие дополнительные методы переработки. Например, химическое отбеливание концентратов обогащения проводится при тонком измельчении материала в слабом растворе серной или соляной кислот с последующей многократной промывкой. При обогащении декрипитацией барит растрескивается при температуре 400–450 °С и переходит в порошковое

состояние, в отличии от минералов–примесей. Путем последующего грохочения выделяется качественный баритовый продукт.

Перспективными методами переработки баритсодержащих руд различных типов является комбинированная технология радиометрического обогащения, включающая процессы крупнопорционной сортировки в транспортных емкостях на РКС и крупнокусковой сепарации после дробления руды.

Вопрос о рациональной схеме обогащения железо-флюорит-редкоземельно-баритовых руд до настоящего времени окончательно не решен.

Для повышения извлечения барита применяется комбинированная схема переработки с флотационным обогащением промпродукта и хвостов гравитации, что позволяет дополнительно получить до 10 % концентрата. Схема флотации (основная, контрольная и несколько перечистных операций) осуществляется при крупности измельчения материала до 90 % класса –0,074 мм.

Техногенные отходы, содержащие барит в незначительных количествах (не более 8–10 %), могут использоваться при производстве специальных цементов или как сырье для повторного извлечения барита.

Барит поставляется в виде продуктов рудоразборки, гравитационного и флотационного концентратов. Качество концентратов должно в каждом конкретном случае регламентироваться договором между поставщиком (рудником) и потребителем или должно соответствовать существующим стандартам и техническим условиям.

Тонко вкрапленные силикаты и сульфиды вследствие различной флотируемости этих минералов отделяют от барита флотацией. В качестве собирателей при флотации сульфидов применяют ксантогенаты, в присутствии которых барит не флотируется. Для флотации барита используют жирные кислоты, их мыла и алкилсульфаты в условиях, обеспечивающих эффективное отделение его от минералов породы. Баритовые руды, содержащие значительное количество железа, часто обогащают рудо сортировкой. Иногда такая руда подвергается магнитной сепарации с предварительным магнетизирующим обжигом. Для отделения железных минералов от барита в некоторых случаях успешно применяют гравитационное обогащение, флотацию или растворение в кислотах тонких пленок минералов железа и других минералов на плоскостях спайности барита. Для обогащения явно кристаллических баритовых руд применяют нагревание (декрипитацию), вызывающее растрескивание барита в тонкий порошок. Необходимая температура – 400-500 °С, крупность исходной руды – 25 мм. Кварц и железистые минералы остаются при этом в виде крупных зерен. Отделение тонкого порошка барита от крупнозернистых примесей достигается грохочением.

Таким образом, крупнозернистые кварцево-баритовые руды обогащают промывкой с последующей рудо сортировкой, среднезернистые руды –

отсадкой, а тонкозернистые – концентрацией на столах, в центробежных аппаратах или флотацией.

Барит флотируется [24] обычно в щелочной среде олеиновой кислотой, талловым маслом в смеси с керосином, сульфатным маслом, нафтеновыми кислотами или алкилсульфатами при расходе 0,5-1,5 кг/т. Наибольшей селективностью обладают алкилсульфаты с длиной аполярной цепи, содержащей 15-17 атомов углерода. Легче всего барит извлекается из руд, пустая порода которых представлена кварцем и силикатами, легко депрессирующимися уже при небольших загрузках жидкого стекла, несколько активирующих флотацию барита. Расход депрессора резко возрастает (до 1,5-4 кг/т) с увеличением в руде содержания карбонатов кальция и магния. Расход всех реагентов снижается, если в качестве собирателя используется алкилсульфат (100-150 г/т), обеспечивающий, кроме того, возможность флотации в жесткой воде без предварительного обесшламливания флотируемого материала.

Поскольку повышенные концентрации жидкого стекла оказывают депрессирующее действие и на флотацию барита, то при значительном количестве карбонатов кальция и магния в руде оказывается целесообразной обработка или промпродуктов в отдельном цикле, или чернового баритового концентрата по методу Н.С. Петрова. Метод заключается в пропарке предварительно сгущенного до 50-60 % твердого концентрата в течение 30-60 минут в растворе жидкого стекла (0,3-2 %) при температуре 80-85 °С, разбавлении холодной водой до 25-400С и последующей флотации барита. В пропарке собиратель десорбируется с поверхности загрязняющих концентрат частиц кальциевых минералов и их флотация практически полностью депрессируется.

Сульфидно-баритовые руды обогащают флотацией. Селективная флотация этих руд позволяет получить сульфидные концентраты (свинцовый, цинковый) и баритовый концентрат высокого качества с содержанием 89-93 % $BaSO_4$. Флотацию барита в этом случае проводят в содовой среде (pH 11) карбоксильным собирателем с использованием в качестве депрессора оксидов железа метасиликата натрия (0,5-1 кг/т).

Флюорит-баритовые руды наиболее эффективно обогащаются флотацией. При этом могут быть получены кондиционные баритовый и флюоритовый концентраты. Предварительной флотацией с применением ксантогената из этих руд могут быть выделены сульфиды тяжелых металлов. Присутствие кальцита усложняет процесс флотации флюорит-баритовых руд.

Баритовые руды, содержащие оксиды железа, труднообогатимы. При малом содержании железа крупнозернистые руды этого типа обогащают промывкой и рудоразборкой, а тонкозернистые – концентрацией на столах или нагреванием, если барит обладает способностью растрескиваться. Лимонит и другие охристые минералы отмываются кислотами, а магнитные минералы железа отделяются магнитной сепарацией. Обогащение баритовых руд, содержащих большое количество железа, весьма затруднено.

В большинстве случаев барит извлекается из полиметаллических руд, повышая комплексность их использования. Получаемые баритовые концентраты используются в химической промышленности в качестве утяжелителя при бурении нефтяных скважин. Высокосортные баритовые концентраты для химической промышленности содержат до 95 % барита. Плотность концентрат для нефтяной промышленности должна быть 4100-4300 кг/м3, а содержание класса -10 мм не более 5-7 %.

Схемы флотационного извлечения барита сравнительно просты. Они включают обычно основную и контрольную флотацию и две-три перечистки концентрата. Иногда концентрат последней перечистки подвергают классификации в гидроциклоне, пески которого являются концентратом для нефтяной промышленности. Из слива гидроциклона после двух-трех перечисток получают концентрат, пригодный для химической промышленности [20].

Казахстан по запасам барита в недрах и по производству баритового концентрата занимает ведущее место среди стран СНГ, а при условии наращивания его добычи может войти в число ведущих стран мира по выпуску этого вида сырья. В Казахстане переработкой сульфидно-баритовых руд занимаются Иртышский полиметаллический комбинат, Текелийский свинцово-цинковый комбинат, Карагайлинский и Жайремский горно-обогатительные комбинаты и АО «Ачполиметалл». За последние 4-5 лет извлечение барита в концентрат на этих предприятиях заметно повысилось. Однако наиболее высококачественный баритовый концентрат, содержащий 95% $BaSO_4$, получают при переработке руд собственно баритового месторождения Чиганак на юге страны. С конца 90-х годов организован выпуск гравитационного баритового утяжелителя на АО «Восточное рудоуправление» из баритовых руд Чиганакского месторождения, на ОФ «Западное» (Жайремский ГОК) из Жайремских руд, на Атасуйском ГОКе из Бестюбинских руд.

Большое значение для качества баритового утяжелителя имеют – удельный вес, который должен быть не ниже 4,2 г/см^3, отсутствие примесей – кальцита, доломита, кварца, сульфидов, а также флотореагентов (жирнокислотных собирателей). В соответствии с последними требованиями, предъявляемыми к баритовым концентратам со стороны нефтяной промышленности, производимые в Казахстане концентраты должны соответствовать не только ГОСТ 4682-84, но и отвечать международным стандартам, в частности стандартам AmericanPetroleumInstitute (API) [1].

С 1994 года организован выпуск гравитационного баритового утяжелителя на АО «Восточное рудоуправление» (ОАО «КАТЭП») из монобаритовых руд Чиганакского месторождения, на обогатительной фабрике «Западное» (Жайремский ГОК) из жайремских руд, на Атасуйском ГОКе из бестюбинских руд. Монобаритовые руды Чиганакского месторождения характеризуют существенно баритовые, а также прожилково-вкрапленные кремнисто-баритовые разновидности пород [25-26].

На месторождении выявлено три залежи монобаритовых руд - № 1,2 и 3. Руды залежи № 1 с 1994 г. перерабатываются на обогатительной фабрике АО «Восточное рудоуправление» по упрощенной гравитационной схеме обогащения, включающей отсадку классов < 20 > 10 и < 10 > 1 мм со складированием шламистой части < 1 > 0 мм в шламохранилище. По схеме фабрики на руде с содержанием 75,31 % сульфата бария получен концентрат, содержащий 91,25 % барита при извлечении 65,35 %. Показатели обогащения, полученные при переработке руды залежи № 1, свидетельствуют, что переработка данного типа руды не вызывает затруднений – при дроблении руды до крупности 15-20 мм достигается сравнительно высокая раскрываемость барита. Следует отметить, что запасы баритовых руд залежи № 1 истощаются, и в этой связи, с целью расширения рудной базы, возникает необходимость вовлечения в переработку забалансовых руд залежи № 2, относящихся к категории труднообогатимых.

Выполненный химический анализ показал, что основную массу в пробах составляет барит и кварц. Так в пробе № 1 содержание барита составляет 52,05 %, кварца – 43,52 %, в пробе № 2 – барита – 71 % и кварца 26,79 %. Содержание других оксидов (кальция, магния, алюминия, марганца и железа) незначительно. Выполненный фракционный анализ показал, что снижение исходной крупности проб № 1 и № 2 с 30 мм до 5 мм позволяет повысить извлечение барита в тяжелую фракцию из пробы № 1 – на 20,06 % (с 28,22 до 48,28 %) при содержании барита в тяжелой фракции – 89,56 %; из пробы № 2 – на 26,36 % (с 36,89 до 63,25 %) при содержании барита в тяжелой фракции – 90,15 %.

Подготовленные классы являлись исходным материалом для обогащения на отсадочной машине и винтовом сепараторе. Промпродукты отсадки и винтовой сепарации измельчались в шаровой мельнице до крупности 60,0 % -0,074 мм с последующим обогащением доизмельченных промпродуктов на винтовом сепараторе. Обогащение руды на пробе № 1 по схеме непрерывного процесса позволило получить общий баритовый концентрат, содержащий 87,21 % барита при извлечении 45,85 от руды. Результаты гравитационного обогащения баритсодержащей руды пробы № 2 показали, что в условиях непрерывного процесса с возвратом промпродуктов на доизвлечение барита, получен концентрат, содержащий 89,57 % барита при его извлечении 61,39 % от руды. С 1994 года по настоящее время монобаритовые руды перерабатываются на рудообогатительной фабрике АО «Восточное рудоуправление», которое находится в пос. Аксуек в 100 км от Чиганакского месторождения. Новая рудообогатительная фабрика по переработке монобаритовой руды построена недалеко от ст. Чиганак на борту карьера. Фабрика прошла государственную приемку и принята в эксплуатацию в ноябре 2007 года.

1.3 Реагенты-собиратели для баритсодержащих руд

Баритсодержащие руды чаще всего обогащают флотацией с использованием в качестве собирателя олеиновой кислоты, талового и соснового масел и т.д. [27].

Практика работы обогатительных фабрик России и Казахстана, перерабатывающих баритсодержащие руды, показала высокую эффективность применения для флотации реагента «Баритол», представляющего собой смесь алкилсульфатов, синтезируемых на основе узкой фракции первичных циглеровских жирных спиртов C_{16}-C_{20}. Применение этого реагента позволяет обеспечить высокое и стабильное качество баритового концентрата. «Баритол» является весьма дорогостоящим реагентом. Поэтому для снижения его расхода на ряде обогатительных фабрик применялись добавки более дешевых оксигидрильных собирателей. Так, на Текелийском и АчисайскомГОКах использовалась смесь «Баритола» с олеиновой кислотой и жирнокислотной фракцией таллового масла. С этой же целью проводились исследования по оптимизации катионного и анионного состава реагентных систем собирателей, содержащих «Баритол». В первом случае для нейтрализации сульфомассы применялась смесь едкого натра и гидроксида аммония, а во втором – до сульфирования в исходные спирты C_{16}-C_{20} добавлялось от 5 до 15 % более низкомолекулярных спиртов фракции C_{10}-C_{12}. При оптимальном расходе эти спирты сокращают расход собирателя на 30-50 %, а в ряде случаев обеспечивают также прирост качества концентрата при прежнем уровне извлечения. Наиболее целесообразным является применение в качестве неионогенной добавки – глицерина, как самого доступного, биоразлагаемого и нетоксичного продукта. Использование технического глицерина в качестве реагентной добавки при флотации руд может стать одним из направлений комплексного использования побочных продуктов производства биотоплива.

Проблема поиска эффективных реагентов - собирателей, способных достойно заменить традиционные дорогостоящие реагенты - олеиновую кислоту, баритол, аспарал и т.д., существует на протяжении нескольких десятилетий и до сих пор полностью не решена [28,29]. Была предпринята попытка решения существующей проблемы для флюорит- и баритсодержащих руд. В качестве объекта внимание было обращено на отходы лесохимического (БТ-1С) и масложирового (Даллес) производств, по стоимости значительно уступающих олеиновой кислоте. Флотации подвергались руды Забайкальского региона - месторождения Усугли, Жетковское, Гарсонуйское, Этыкинское, Монголии - Бор-Ун-Дур и баритсодержащие руды, перерабатываемые Салаирским ГОКом. Использование реагентов с наличием в их составе предельных и непредельных кислот в определенном их соотношении позволяет повысить качество и извлечение флюоритового и баритового концентратов при равном

их расходе в сравнении с традиционными и незначительной стоимости последних [12-15].

Основными собирателями для промышленной флотации несульфидных руд являются жирные кислоты (ЖКС) и их мыла (олеиновая кислота, олеат натрия, жирнокислотная фракция таллового масла (ЖКФТМ), талловое масло и др.), алкилсульфаты и собирательные смеси на их основе.

Требования, предъявляемые к собирателям - высокая эффективность и селективность. Однако степень избирательности используемых в настоящее время собирателей для баритовой флотации обычно недостаточна [28-30].

Для улучшения этих свойств к жирным кислотам добавляются различные химические реагенты и добавки. И ряд изобретений направлен на улучшение их селективности. Так получен флотационный собиратель для несульфидных руд на основе омыленной жирной кислоты. Перед омылением жирной кислоты ее нагревают до 70-75°С, и при перемешивании вводят в качестве регулятора полимеризации фенольный антиоксидант - Агидол-1 в количестве 0,5-5 мас.% После процесса омыления в полученный собиратель может быть добавлен алкилсульфат натрия в количестве 4-5 мас.%.Флотационый собиратель обладает высокоэффективной и высокоселективной флотацией несульфидных руд, преимущественно баритсодержащих. В качестве жирной кислоты используют жирнокислотную фракцию таллового масла или олеиновую кислоту.

Механизм действия Агидола-1 основан на его способности обрывать цепную полимеризацию, собиратель обладает малой молекулярной массой по сравнению с громоздкими полимерными структурами общеизвестных реагентов. Подвижность молекул в растворах обратно пропорциональна молекулярной массе, более легкие молекулы соединений более подвижны в растворе и обусловливают высокую скорость их взаимодействия с баритом, и, как следствие, усиливает собирательные свойства реагента и уменьшает его расход. К тому же, флокулы разбиваются на мономолекулы и способствуют прекращению излишнего пенообразования, снижая механический вынос пустой породы.

Экспериментально установлены пределы концентрации регулятора полимеризации в данном реагенте. Уменьшение содержания Агидола-1 менее нижней границы не дает положительного эффекта, а увеличение более 5% приводит к трудности в транспортировке продукта в связи с быстрымпеноразрушением. Данный реагент был испытан в лабораторных условиях Салаирского ГОКа, перерабатывающего окисленные, баритсодержащие руды с содержанием барита 28-35%.

В результате получали баритовый концентрат с содержанием $BaSO_4$ не менее 96,6-98% (ранее при использовании в качестве собирателя известного флотационного реагента “Баритол” получали концентрат с содержанием BaSO4 не более 91%). При этом увеличено извлечение на 3-5% по сравнению с применяемыми реагентами. Расход такого флотационного реагента (20%

активности) составил 300-500 г/т, тогда как ранее применяемого реагента “Баритол” требовалось 1000 г/т при той же активности.

Выводы

Выбор способа обогащения зависит от минерального состава, структуры руды, от размеров вкраплений, требований потребителя. При обогащении барита используется, в основном, его высокий удельный вес, значительная флотационная активность и химическая инертность барита.

Проблема поиска эффективных реагентов - собирателей, способных достойно заменить традиционные дорогостоящие реагенты - олеиновую кислоту, баритол, аспарал и т.д. является одной из актуальных задач.

Исходя из вышеизложенного нами предлагается комбинированная гравитационно-флотационная технология обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с применением модифицированных флотореагентов.

2 Получение модифицированных флотореагентов и изучение их физико-химических свойств

2.1 Получение модифицированного ксантогената и изучение его состава

Модифицированный ксантогенат предлагается в качестве собирателя минералов свинца в свинцовом цикле флотации баритсодержащей руды.

Синтез нового собирателя проводился на основе отходов спиртового производства - сивушных масел Талгарского спирт-завода. В производственном цикле Талгарский спирт-завод не использует ректификационные колонки, за счет чего, сивушное масло содержит большое количество этанола. Сивушное масло в своем составе содержит две группы токсичных веществ, условно разделяемых по температуре кипения: к первой группе относят вещества с температурой кипения ниже 78,4 °С (точка кипения для чистого этилового спирта) - сюда входят известный нам ацетальдегид и уксусно-масляный эфир; ко второй группе относят вещества с температурой кипения выше 78,4 °С - пропиловый спирт, изопропиловый спирт, амиловый спирт, изоамиловый спирт, изобутиловый спирт, ацетил, масляно - этиловый эфир.

При проведении анализа было выявлено, что содержание этанола в сивушных маслах составляет 80 % по массе. Для снижения содержания этанола была проведена простая перегонка и разделение сивушного масла на две температурные фракции. Для дальнейшей работы была использована вторая фракция, которая в своем составе содержала 50 % изоамилового спирта, 25 % изобутилового, 14 % бутилового, 5 % пропилового, 2 % изопропилового спирта и другие компоненты.

Было осуществлено: абсолютирование изоамилового, бутилового, изобутилового спирта, синтез соответствующих ксантогенатов, исследованы коллоидно-химические свойства.

При синтезе ксантогената образуется вещество желтого цвета, которое отделяется от растворителя фильтрованием.

$$C_xH_yOH + Na \rightarrow C_xH_yONa$$

$$C_xH_yONa + CS_2 \rightarrow C_xH_yOCS_2Na$$

Полученные продукты представляют собой вещества оранжевого, желтого и красноватого цвета, идентификация которых осуществляется ИК-спектроскопией. На рисунке 1 представлен ИК-спектр ксантогената на основе сивушного масла.

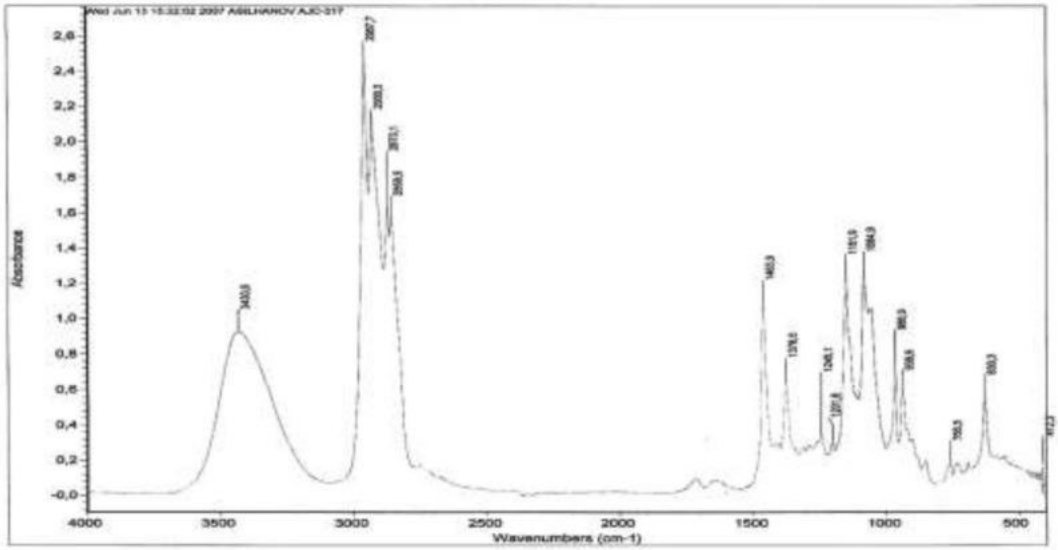


Рисунок 1 - ИК-спектр ксантогената на основе сивушного масла

В ИК-спектре ксантогената на основе сивушного масла наблюдаются полосы поглощения 2957см$^{-1}$, 2930 см$^{-1}$, 2870 см$^{-1}$, 1480 см$^{-1}$, 1375 см$^{-1}$, отвечающие валентным и дифференциальным колебаниям метильной и метиленовой групп. При 1150 см$^{-1}$ валентные колебания, отвечающие за колебания С-О, и в области 1200-1400 см$^{-1}$ валентные колебания ксантогенатной группы [31-33].

Было измерено поверхностное натяжение растворов полученных собирателей. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты измерения энергии поверхностного натяжения 0,5 %-ных растворов

Наименование раствора	Поверхностное натяжение, Дж/м^2
Изоамиловый ксантогенат	47,15
Бутиловый ксантогенат	53,28
Изобутиловый ксантогенат	56,09
Ксантогенат на основе сивушного масла	57,30

2.2 Получение модифицированного реагента и изучение его свойств

Модифицированный реагент получен на основе соапстока. Этот реагент предлагается в качестве собирателя в баритовом цикле флотации барисодержащей руды.

Соапсток, отстой, образующийся в результате щелочного рафинирования растительных масел и жиров в жироперерабатывающей промышленности; относится к категории возвратных отходов. Имеет сложный и непостоянный состав, зависящий от природы масла или жира и его свойств (кислотного числа, количества сопутствующих веществ и др.), а также метода рафинирования и точности осуществления технологического процесса. Жирно-кислотный состав масляных и саломасных (соапстокгидрированных жиров) соапсток близок к жирнокислотному составу перерабатываемого сырья. Соапсток содержит водный раствор мыл, масло, соединения фосфора. красящие вещества, минеральные и механические примеси и др. Примерный состав соапстока, получаемого при рафинировании подсолнечного, хлопкового масел и гидрированного жира, % по массе: жир 8-50, в т.ч. мыл. 8-30, нейтральный жир 1-20, вода и различные нежировые компоненты 50-92, в том числе небольшие количества непрореагировавшего NaOH, NaCl, красящих веществ, фосфатидов, белков и углеводов.

Для выделения свободных жирных кислот из соапстока его обрабатывают минеральными кислотами или щелочью (для омыления нейтрального жира) с последующей дистилляцией [34-35].

Жирные кислоты, выделенные из масляных и саломасных соапстоков, используют непосредственно в мыловарении, а также для получения глицерина и стеарина; соапсток льняного масла - в производстве олиф и сиккативов.

Для получения модифицированного реагента для флотации барита применяли соапсток, полученный в ТОО «Полисертико» (г. Усть-Каменогорск). Физико-химические показатели исходного соапстока: массовая доля жира – 96,5 %; кислотное число жира – 127; массовая доля влаги – 3,3 %.

Соапсток представляет собой окрашенную малоподвижную коллоидную систему сложного качественного и количественного состава. Интенсивность его окраски зависит от содержания пигментов в рафинируемом масле. Основным физическим показателем, влияющим на протекание процессов переработки соапстоков, является вязкость. Состав соапстоков зависит от вида рафинируемого масла, условий рафинации и хранения, и может меняться в широких пределах. При этом можно выделить две основные группы соединений: вещества жировой природы, к которым относятся прежде всего мыла, жирные кислоты и нейтральный жир в виде моно-, ди- и триглицеридов; нежировые примеси, включающие в себя водорастворимые органические кислоты и их соли, пигменты, соединения железа, углеводороды, спирты, кетоны и некоторые другие органические вещества.

Кислоты, входящие в жировую часть соапстоков, представляют собой смесь предельных и непредельных высокомолекулярных кислот, фракционный состав которых зависит от рафинируемого масла.

В хлопковых маслах содержится 33-50% линолевой кислоты, 29-44% олеиновой, 19-23% пальмитиновой и стеариновой кислот; в подсолнечных маслах – 55-72% линолевой кислоты, 25-35% олеиновой, 3-10% пальмитиновой и стеариновой кислот [36].

Жирные кислоты по внешнему виду представляют собой подвижную густую массу темно-коричневого цвета, хорошо растворимую в водных щелочных растворах.

Для исследования взяты высшие жирные кислоты C_{10}-C_{18}, выделенные из смеси соапстоков подсолнечного масла, характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики высших жирных кислот C_{10}-C_{18}, выделенные из смеси соапстоков подсолнечного масла

Наименование характеристики	Численная величина
Содержание жирных кислот , %	78,0
в том числе: ненасыщенных	58,7
насыщенных	14,0
оксикислоты	5,3
неомыляемых	5,1
нейтрального жира	4,8
остаточное содержание едкого натра	0,01
воды	10,1
Йодное число, г йода на 100 г продукта	85
Число омыления, мг едкого кали на 1 г продукта	178
Кислотное число, мг едкого кали на 1 г продукта	185
Перекисное число, %	0,05

Жирные кислоты подвергались ультразвуковой обработке на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-М1200Т в течение 5 минут при частоте 22 кГц. После модификации жирные кислоты меняли свой внешний вид, приобретая вязкую консистенцию и меняя цвет от желтого до молочного.

Определены физико-химические свойства модифицированной жирной кислоты:

- величина перекисного числа – 0,12%;

-сняты электронные спектры с применением метода УФ-спектроскопии на спектрофотометре СФ-26.

Результаты исследований показали, что величина перекисного числа модифицированной жирной кислоты составила 0,12 % по сравнению с не модифицированной кислотой 0,05 %. Сравнительные спектры чистых и модифицированных жирных кислот представлены на рисунке 2.

Приведенные на рисунке 2 результаты показывают, что максимум поглощения чистых жирных кислот составляет 314 $см^{-1}$, а

модифицированного реагента 460 см$^{-1}$. Согласно литературным данным жирным гидроперекисям соответствует максимум поглощения в пределах 440-465 см$^{-1}$. В результате жирная кислота изменила свою структуру, с образованием жирных гидроперекисей, которые влияют на флотационные свойства реагента-собирателя, делая его селективным во флотационном процессе [37].

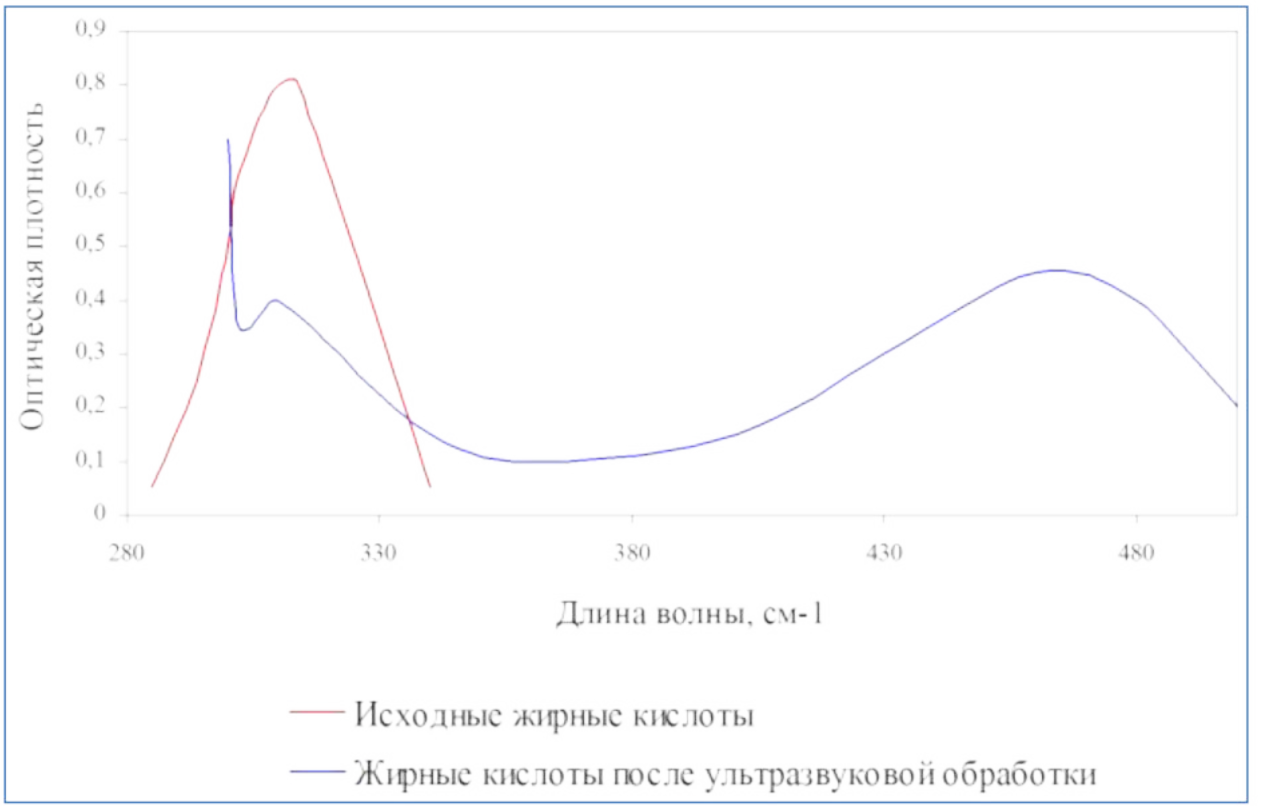


Рисунок 2 – УФ-спектры растворов жирной кислоты до и после ультразвуковой обработки

Таким образом, результаты исследований показали, что величина перекисного числа модифицированной жирной кислоты составила 0,12 % по сравнению с не модифицированной кислотой 0,05 %. В результате ультразвуковой обработки жирная кислота изменила свою структуру, с образованием жирных гидроперекисей, которые влияют на флотационные свойства реагента-собирателя, делая его селективным во флотационном процессе.

Выводы

Получены новые реагенты-собиратели: модифицированный ксантогенат в качестве собирателя минералов свинца и модифицированный реагент на основе соапстока в качестве собирателя минералов барита. Изучены свойства полученных модифицированных реагентов.

В ИК-спектре ксантогената на основе сивушного масла наблюдаются полосы поглощения, отвечающие валентным и дифференциальным колебаниям метильной и метиленовой групп. Обнаружены валентные колебания, отвечающие за колебания С-О группы и колебания ксантогенатной группы. Поверхностное натяжение раствора модифицированного ксантогената выше поверхностного натяжения изобутилового, бутилового и изоамилового ксантогенатов.

Установлено, что модифицированный реагент на основе соапстока обладает более селективными свойствами к минералам барита.

3 Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды

3.1 Изучение вещественного состава свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай

По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения и особенностям распределения баритовой минерализации собственно баритовые месторождения и баритовые тела комплексных месторождений соответствуют 1-,2- и 3-й группам сложности «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».

К 1-й группе относятся гидротермальные месторождения, представленные крупными, выдержанными по мощности и внутреннему строению жилами с относительно равномерным распределением барита (Джалаирское месторождение), а также элювиальные исклоновые (делювиальные) россыпи, характеризующиеся выдержанными мощностью, внутренним строением и относительной равномерностью распределения барита (участок россыпей того же месторождения).

Ко 2-й группе относятся собственно баритовые месторождения различного генезиса, а также баритовые тела комплексных месторождений (Жайрем, Беганьское), представленные крупными и средними пластообразными (Апшринское, Чиганакское), линзовидными (Кентобе, Жуманай, Медведевское) залежами, крупнымии средними жилами (Чордское), характеризующимися изменчивыми мощностью, внутренним строением или нарушенным залеганием (Хойлинское в Республике Коми, Толчеинское в Хакассии) с неравномерным распределением барита, а также делювиальные россыпи (Медведевское).

К 3-й группе относится большинство баритовых тел комплексных месторождений: средние и мелкие линзообразные залежи (на Маднеульском медно-барит-полиметаллическом месторождении в Грузии, Талганском в Челябинской области, Среднеми Зареченском барит-полиметаллических месторождениях в Алтайском крае, Бестюбе и Кайракты в Казахстане), характеризующиеся резкой изменчивостью мощности, внутреннего строения и весьма неравномерным распределением барита, а также пластообразные тела, (барит-полиметаллическое месторождение Юбилейное на Алтае) с изменчивыми залеганием и внутренним строением,с неравномерным распределением барита.

Принадлежность собственно баритового месторождения к той или иной группе устанавливается по степени сложности геологического строения рудных тел, заключающих не менее 70 % общих запасов месторождения [21].

Промышленные месторождения баритсодержащих руд подразделяются на гидротермальные, месторождения выветривания и осадочные. Гидротермальные месторождения представлены мощными залежами барита,

сопровождаемыми карбонатами, сульфидами железа, цинка, свинца и меди, кварцем, флюоритом [2]. Среди этих месторождений выделяются жильные и метасоматические месторождения. К этому типу принадлежат месторождения Грузии, Туркмении, Казахстана, Хакассии и др. В метасоматических месторождениях барит образует обычно рассеянную вкрапленность в известняках, и поэтому месторождения этого типа не имеют самостоятельного промышленного значения. Промышленное значение осадочных месторождений также не велико. К месторождениям выветривания относится Медведское месторождение на Урале.

Баритовые руды разделяются на следующие технологические типы:

- по минеральным ассоциациям: кварцево-баритовые; кальцит-баритовые; сульфидно-баритовые; флюорит-баритовые; баритовые, содержащие оксиды железа – магнитные железные минералы, лимонит и другие охристые минералы;

- по крупности минеральных включений: крупнозернистые руды, из которых при дроблении до 100-25 мм можно выделить куски с кондиционным содержанием барита; среднезернистые руды, из которых возможно выделение частиц с кондиционным содержанием барита при дроблении руды до 1,5-2 мм; тонкозернистые руды, в которых раскрытие основной массы минералов достигается при измельчении до 0,5 мм и мельче.

- по текстурным особенностям барита: мягкий барит – кристаллический, с отчетливо выраженной спайностью, хорошо поддающийся измельчению, используется главным образом для получения молотого барита; твердый барит – скрытокристаллический, плотный, трудно измельчающийся, используется преимущественно для химической переработки.

Центральный Казахстан является основной минерально-сырьевой базой для развития полиметаллического производства с получением концентратов и чистых металлов основной группы. В настоящее время минерально-сырьевая база действующих горно-металлургических предприятий как в Восточном Казахстане (ТОО «Казцинк»), так и Южном (АО «Южполиметалл») находится на стадии исчерпания, и запасы достаточны на 10-15 лет [1].

Полиметаллическая сырьевая база Центрального Казахстана представлена группой месторождений Жайрем-Атасуйского рудного района – Жайрем (участки – Дальнезападный, Западный, Восточный), Ушкатын, Алашпай, Кужал, Бестюбе, Арап. Указанные месторождения полезных ископаемых находятся в радиусе 40-50 км от поселка Жайрем.

Месторождение Алашпай открыто при поисковых работах на барит – свинцово – цинковые руды в Алашпаевской синклинали, проведенных в 1991 – 95 гг.Месторождение Алашпай является непосредственным южным продолжением барит-цинково-свинцового месторождения Рифового, где характер оруденения изучен относительно полно.

В 1991 – 92 гг. Алашпаевский партией к югу от месторождения Рифовое картировочными скважинами установлены под покровом рыхлых отложений на глубинах 25 – 40 м богатые окисленные свинцовые руды с содержанием от 1,0 до 27 % свинца. Двумя поисковыми скважинами в профиле XXII вскрыты сульфидные руды, слагающие несколько залежей мощностью от 2 до 34 м со средним содержанием свинца от 6,92 до 19,02 %, цинка от 0,91 до 2,64 %. Оруденение прослежено картировочными скважинами на протяжении 1,5 км.

В геологическом строении месторождения Алашпай участвуют вулканогенно – осадочные и морские осадочные образования среднего палеозоя (от среднего девона до нижнего карбона), немногочисленные малые интрузии и сравнительно маломощный чехол рыхлых отложений кайнозоя.

В пределах месторождения развиты два основных природных типа руд:

- первичные сульфидные барит-свинцово-цинковые;
- окисленные барит – свинцовые руды.

Основными рудными минералами являются галенит, сфалерит, нерудными – кальцит, доломит, барит. К числу менее распространенных (второстепенных) относятся пирит, халькопирит, блеклая руда, из нерудных – кварц, альбит, серицит.

Содержание основных компонентов в сульфидных рудах изменяется в пределах: свинец от сотых долей процента до 49,83 % (среднее 7,47 %), цинк от сотых долей процента до 17,06 % (среднее содержание 2,36 %), сульфат бария от десятых долей процента до 40,82 % (среднее содержание 11,70 %).

Текстуры руд: прожилковая, прожилково-вкрапленная, гнездовая, гнездово-вкрапленная, реже – брекчиевидная, полосчатая, массивная.

Окисленные руды развиты в верхней части месторождения, в зоне коры выветривания по известнякам. Вмещающими породами для окисленных руд служат продукты гидрохимического выветривания фаменских известняков. Исходные рудные минералы – сульфиды в зоне окисления окислены и превращены в карбонаты, сульфаты и в другие вторичные минералы.

Содержание основных полезных компонентов в окисленных рудах изменяется в следующих пределах: свинец от сотых долей процента до 64,50 %; цинк от 0 до 1,32 %; сульфат бария от десятых долей процента до 51,88 %.

Окисленные свинцовые руды, подсчитанные в целом для месторождения, включая участок Алашпай и южную половину Рифового с суммарными запасами свинца 231 тыс. тонн имеют средние содержания:

- свинца – 5,66 %
- цинка – 0,19 %
- сульфата бария – 1,86 %.

Руды месторождения Алашпай, имея тонко- и мелкозернистое строение, обладают хорошей устойчивостью. Чистые разновидности барит-свинцовых руд характеризуются, в основном, мелкой кусковатостью (от 1-2 до 10-15 см в поперечнике). Более крупные куски, достигающие в поперечнике 15-30 см, более характерны для кремнистых разновидностей

руд. Коэффициент разрыхления руд и вмещающих пород 1,6-1,65. Средняя величина объемного веса первичных барит-полиметаллических руд составляет 3,79 т/м^3. Определены физико-механические свойства руды:

- насыпной вес 2,39 г/см^3;
- плотность 3,73 г/см^3;
- пористость 1,34 %;
- влажность 0,098 %;
- крепость по шкале М.М. Протодьяконова 10-11.

Подготовка технологической пробы руды месторождения Алашпай включала в себя дробление руды на лабораторных щековой и валковой дробилках, подготовку проб руды на различные виды анализа, разделку пробы руды на навески для гравитационных и флотационных опытов.

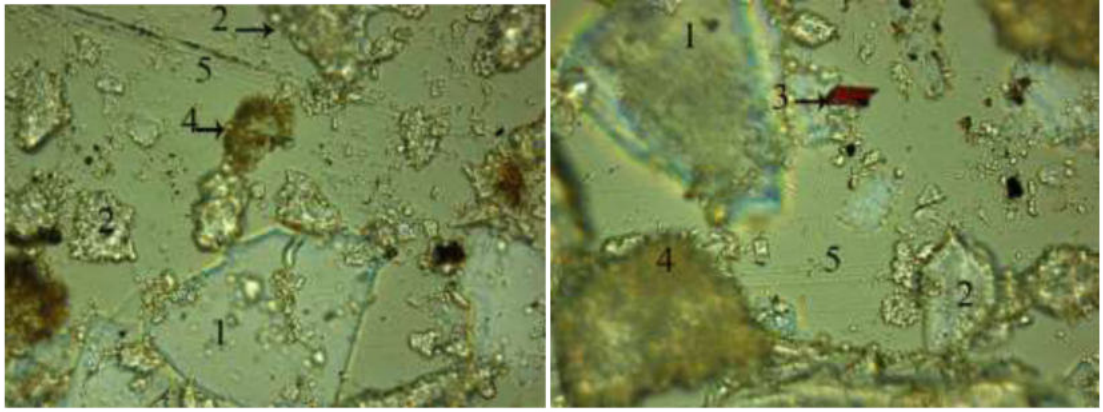
Были сделаны минералогический, химический, спектральный и рентгено-фазовый анализы.

Минералогический состав пробы руды месторождения Алашпай

Минералогический состав пробы руды месторождения Алашпай следующий (рисунок 3):

- Барит $BaSO_4$ - форма кристаллов таблитчатая и призматическая. Бесцветный, анизотропный, оптически двуосный положительный 2V(+), с показателем преломления N~1,629.
- Кварц α - SiO_2 – в проходящем свете бесцветный, анизотропный, излом раковистый, одноосный положительный O(+), показатель преломления N~1,540.
- Гематит Fe_2O_3.
- Каолинит $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ в проходящем свете, в основном, тонкодисперсный, бесцветный, анизотропный с N~1,566.
- Гидроокислы железа в виде присыпок и примазок на зернах кварца.
- Предположительно TiO_2 – единичные мелкие зерна (не более 10 микрон).

Исследование проб проводилось под микроскопом МИН-8 при увеличении 320х, а также под микроскопом OLYMPUS при увеличении 400х в проходящем свете в иммерсионной среде Микрофотографии проб в проходящем свете в иммерсионной среде изготовлены при увеличении 400х под микроскопом OLYMPUS при помощи программы StreamBasicR.



1 – барит; 2 – кварц; 3 – гематит; 4 – гидроокислы железа;
5 – иммерсионная среда

Рисунок 3 – Минералогический состав руды месторождения Алашпай

Микроскопический анализ пробы руды месторождения Алашпай

Пробы исходной свинцово-баритовой руды проанализированы на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL. Результаты микроанализа приведены на рисунках 4-6.

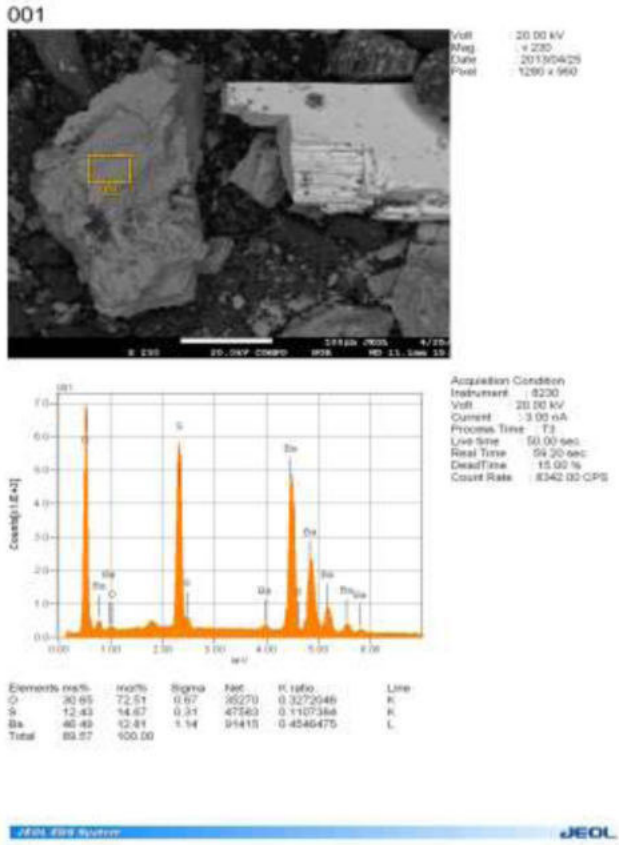
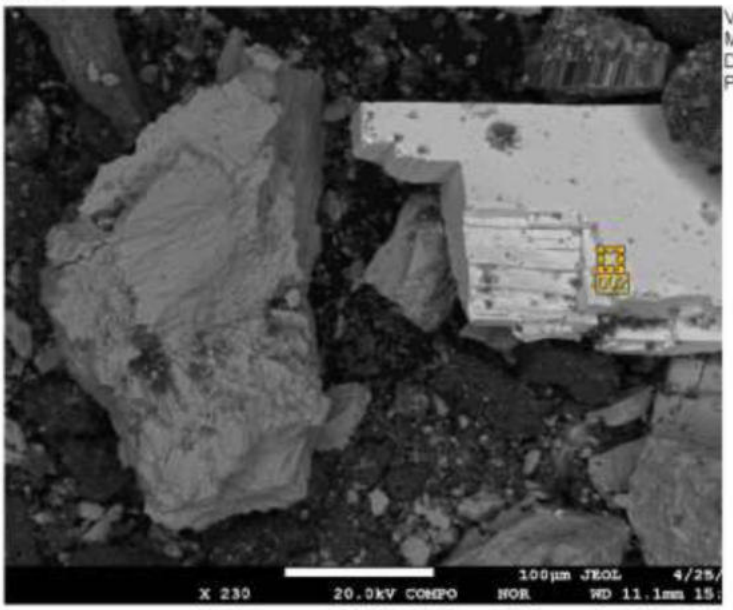
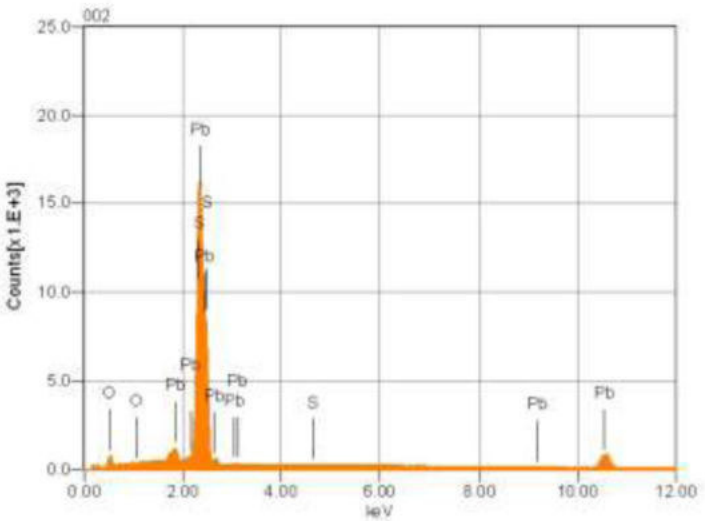


Рисунок 4 – Анализ исходной свинцово-баритовой руды на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL (минералы барита)

002



Volt : 20.00 kV
Mag. : x 230
Date : 2013/04/25
Pixel : 1280 x 960

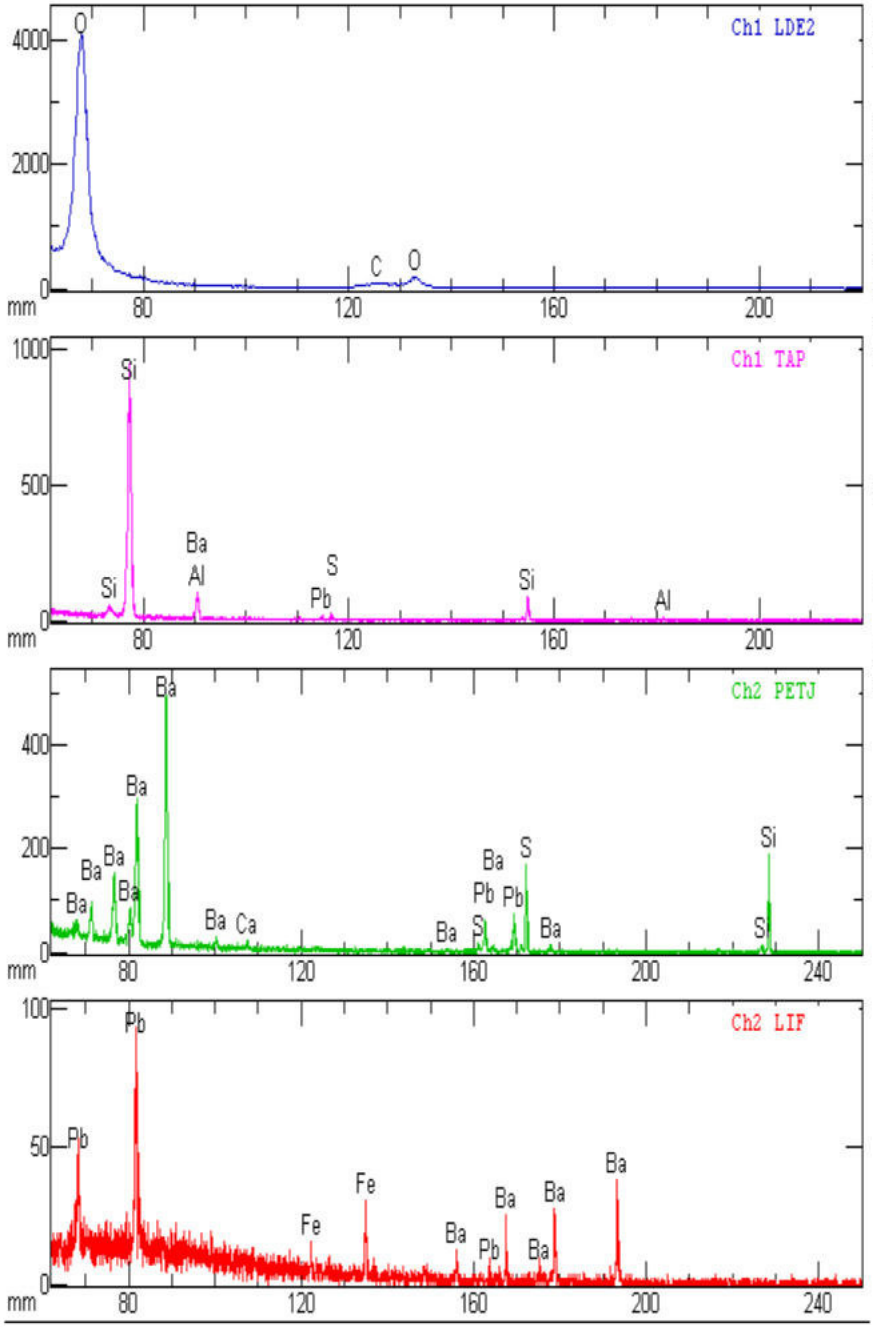


Acquisition Condition
Instrument : 8230
Volt : 20.00 kV
Current : 3.00 nA
Process Time : T3
Live time : 50.01 sec.
Real Time : 61.15 sec.
DeadTime : 18.00 %
Count Rate : 11865.00 CPS

Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
O	2.56	23.04	0.43	3295	0.0305210	K
S	2.04	9.19	0.16	11122	0.0258433	K
Pb	97.35	67.77	0.73	266376	0.9442622	M
Total	101.95	100.00				

JEOL EDS System JEOL

Рисунок 5 – Анализ исходной свинцово-баритовой руды на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL (минералы свинца)



Path : C:\Documents and Settings\EPMA
Project: 212_0001

Apr 25 15:07 2013
Stage No. 1
X : -0.0862 mm
Y : -24.4170 mm
Z : 11.1685 mm
Acc. V 20.0 kV
Prob C 9.936e-008 A
Beam Shape Circle Probe Dia. 300

A-rank
C O Al Si S
Ca Fe Ba Pb
B-rank

ZAF Metal

Element	Mass(%)	Atom(%)	K(%)
C	1.044	2.9345	0.242
O	34.219	72.1840	12.452
Al	1.192	1.4917	0.613
Si	8.857	10.6422	5.680
S	4.595	4.8373	3.533
Ca	0.271	0.2279	0.233
Fe	1.103	0.6665	0.979
Ba	16.510	4.0574	12.899
Pb	18.162	2.9586	13.057
Total	85.953	100.0000	49.687

Рисунок 6 – Анализ исходной свинцово-баритовой руды на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL

Как было показано ранее для пробы № **1**, несмотря на большой расход сульфидизатора сульфида натрия и собирателя бутилового ксантогената, флотация свинца затруднена из-за того, что свинцовый минерал находится в виде англезита PbSO4, что подтверждается электронно-зондовым и ИК-спектроскопическим анализом. Данная форма свинцового минерала труднофлотируема. Технологические показатели по извлечению свинца флотационными методами низкие. При такой форме содержания свинца рекомендуются исследования по гравитационному способу извлечения свинца (тяжелые среды, концентрационный стол, центробежное оборудование).

Химический, спектральный, ИК- спектроскопический анализ пробы руды месторождения Алашпай

По результатам химического анализа в руде содержится 30,71 % $BaSO_4$, 18,52 % Ba, 1,33 % свинца, 7,89 % Fe_2O_3, 3,81 % $S_{общ}$.

Проведен атомно-эмиссионный качественный спектральный анализ, который показал, что в исследуемой руде присутствуют значительные количества кремния Si, алюминия Al, бария Ba и обнаружены следующие примеси: Pb – 1,0 %; Na – 0,015 %; Ca – 0,06 %; Mg – 0,03 %; Ti – 0,1 %; Zn – 0,007 %; Cu – 0,04 %; Cr – 0,15 %; Ag - 0,0003 %; Zr – 0,001 %; Be – 0,0003 %.

Проведен ИК-спектроскопический анализ руды. Спектр получен на ИК-Фурье спектрометре «Avatar 370» в спектральном диапазоне 4000-250 $см^{-1}$ от препарата в виде суспензии на вазелиновом масле в окнах KRS-5, в качестве спектра сравнения снят спектр вазелинового масла. Приставка для эксперимента: Transmission E.S.P. На рисунке 7 представлен ИК-спектр руды месторождения Алашпай.

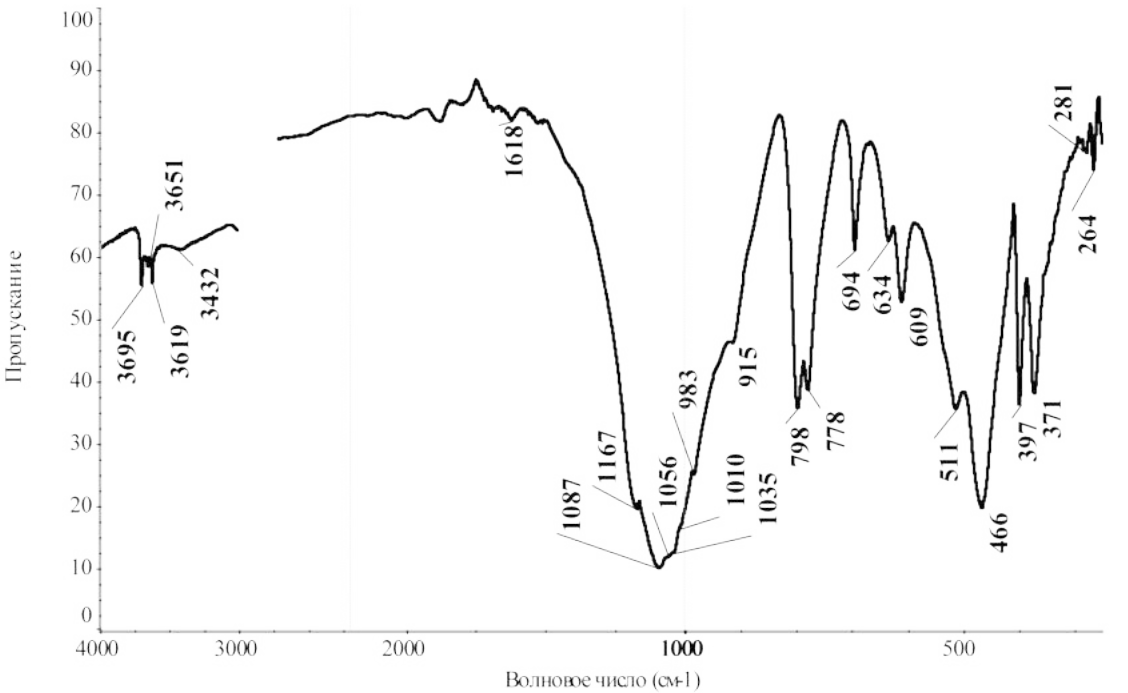


Рисунок 7 - Инфракрасный спектр руды месторождения Алашпай

Основное содержание в руде:

Кварц α-SiO_2 – 1167, 1087, 798, 778, 694, 511, 466, 397, 371 $см^{-1}$ [32,34].

Барит $BaSO_4$ – 1087, 983, 634, 609 $см^{-1}$ [32,34].

Каолинит $Al_4[(OH)_8 \mid Si_4O_{10}]$ – 3695, 3651, 3619, 3432, 1618, 1035, 1010, 915, 798 $см^{-1}$ [32,34].

Возможно, присутствует англезит $PbSO_4$ - 1167, 1056 $см^{-1}$ [32,34].

В длинноволновой области, где наблюдается проявление связей Me – O, Me – S, Me – X зафиксированы полосы поглощения при волновых числах 281, 264 $см^{-1}$.

Проведен рентгенодифрактометрический анализ пробы руды месторождения Алашпай на автоматизированном дифрактометре ДРОН-4 с $Cu_{K\alpha}$ – излучением, β-фильтр. Условия съемки дифрактограмм: ускоряющее напряжение U=35kV; ток анода I=20mA; шкала: 2000 имп; постоянная времени 2 с; съемка тэта-2тэта; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ASTMPowderdiffractionfile и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Для основных фаз проводился расчет содержания. По результатам полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз в руде содержится:

- барит $BaSO_4$ 36 %;
- кварц SiO_2 58 %;
- каолинит $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$6 %.

3.2 Гранулометрический анализ пробы руды месторождения Алашпай

Для определения гранулометрического состава дробленой руды проводился ситовой анализ. Для рассева использовали набор проволочных сит с квадратными отверстиями, соответствующими стандартной шкале. Навеска дробленой руды составляла 500 грамм.

Результаты ситового анализа дробленой руды представлены в таблице 3 и на рисунках 8 и 9.

Таблица 3 – Ситовой анализ дробленой руды

Классы крупности, мм	Номинальный размер отверстия, мм	Выход %	Суммарный выход, %
+1,6	1,6	2,84	2,84
-1,6+1,0	1,0	5,24	8,08
-1,0+0,4	0,4	32,1	40,18
-0,4+0,2	0,2	24,42	64,6
-0,2+0,1	0,1	12,36	76,96
-0,1+0,071	0,071	10,22	87,18
-0,071	-	12,82	100,0
Исходный продукт	-	100	-

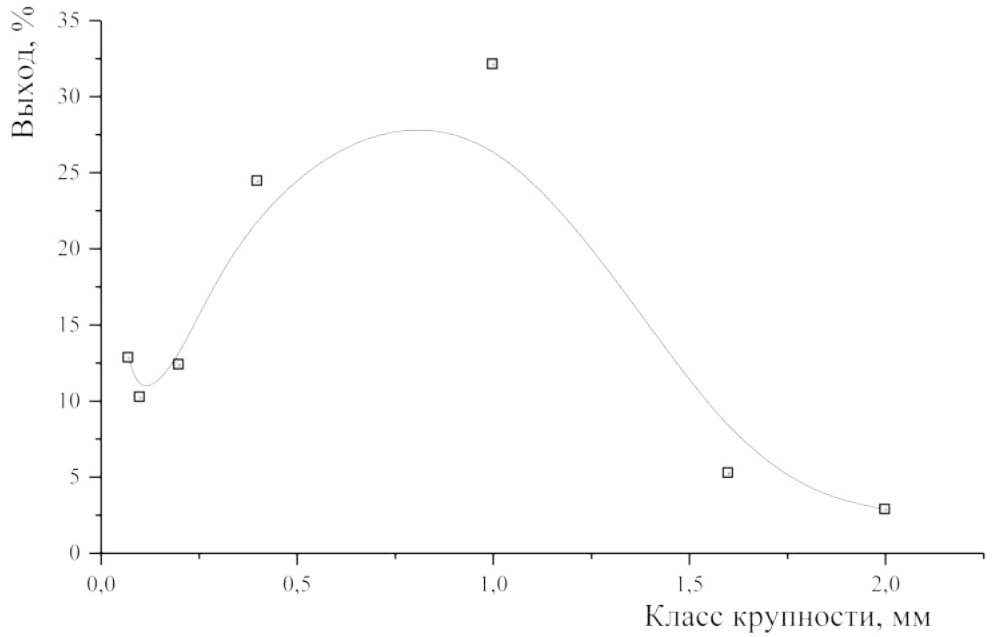


Рисунок 8 – Частная характеристика крупности дробленой руды месторождения Алашпай по выходам отдельных классов

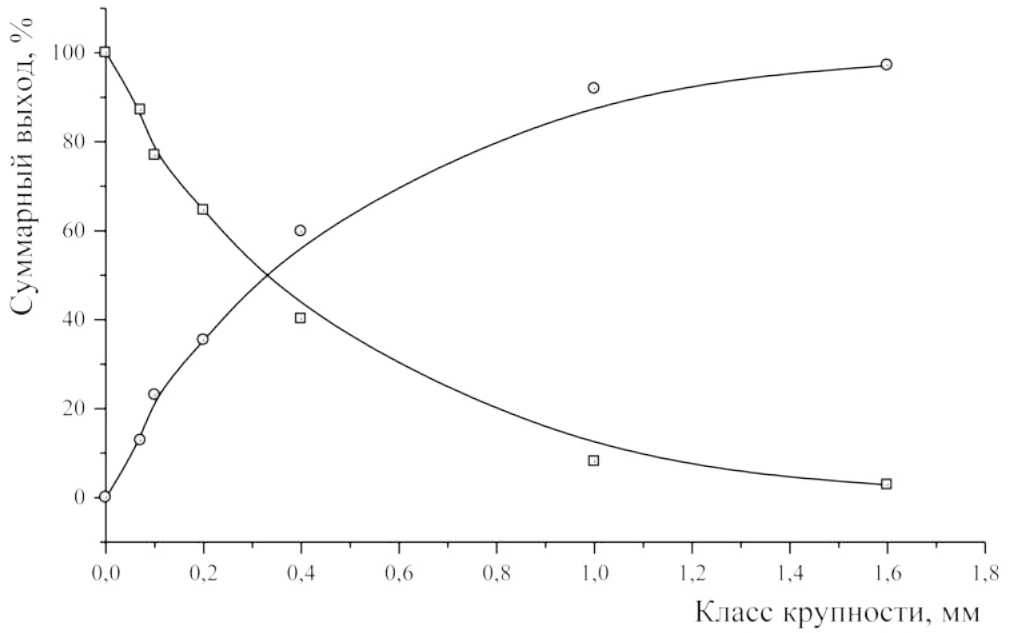


Рисунок 9 – Суммарная характеристика крупности дробленой руды месторождения Алашпай по выходам отдельных классов

В каждом классе крупности определяли содержание и распределение свинца и барита. Данные представлены в таблице 4.

Результаты таблицы 4 показывают, что основное количество свинца (83,41 %) и барита (68,1 %) находится в классе крупнее 0,2 мм.

Таблица 4 – Распределение полезных компонентов в дробленой руде

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %		Распределение, %	
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$
+1,6	2,84	1,5	42,7	4,58	3,31
-1,6+1,0	5,24	1,4	40,5	7,88	5,79
-1,01+0,4	32,1	1,6	40,9	55,2	35,81
-0,4+0,2	24,42	0,6	34,8	15,75	23,18
-0,2+0,1	12,36	0,4	36,7	5,31	12,37
-0,1+0,071	10,22	0,4	32,1	4,39	8,95
-0,071+0	12,82	0,5	30,3	6,89	10,6
Исх.руда	100	0,93	36,66	100	100

Для лабораторного определения измельчаемости руды проба дробилась на лабораторной щековой дробилке до крупности –2,5+0 мм и измельчалась в лабораторной шаровой мельнице. Результаты кинетики измельчения по классам -0,071 мм и -0,041 мм представлены на рисунках 10 и 11.

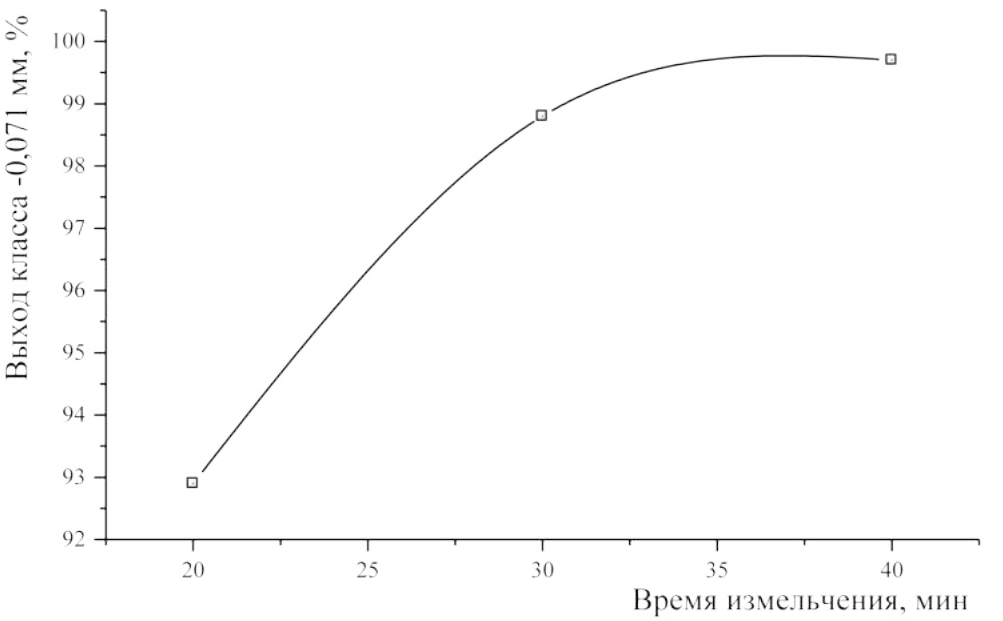


Рисунок 10 – Кинетика измельчения исходной руды месторождения Алашпай по классу -0,071 мм

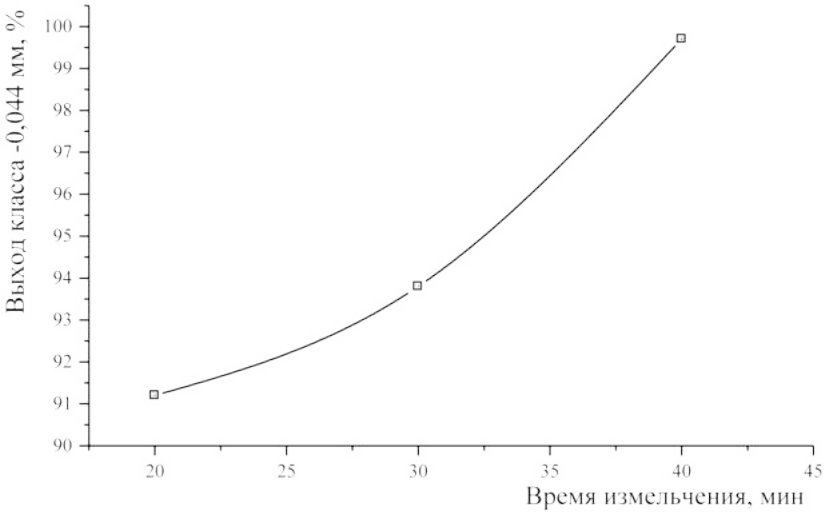


Рисунок 11 – Кинетика измельчения исходной руды месторождения Алашпай по классу -0,041 мм

3.3 Отработка технологических режимов свинцового и баритового циклов флотации баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением базовых реагентов

Проведены исследования по подбору принципиальной технологической схемы флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай. Руду дробили на лабораторных щековой и валковой дробилках до крупности -2,5+0 мм, затем измельчали в лабораторной шаровой мельнице до 98,5 % кл. –0,071 мм. Флотационные опыты проводились на лабораторных флотационных машинах ФМЛ–1 и ФМЛ–2. Навеска руды для опыта составляла 1000 г. После измельчения проводили опыты по извлечению свинцового и баритового концентратов по схеме, представленной на рисунке 12.

В качестве принципиальной схемы флотации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай принята прямая селективная схема. По этой схеме обогащаются многие свинцово-баритовые руды.

В процесс измельчения подавалисульфид натрия для сульфидизации минералов свинца.

Основную свинцовую флотацию проводили в течение 8 минут и использовали следующие реагенты в качестве:

- сульфидизатора свинцовых минералов – сульфид натрия;
- депрессора пустой породы – жидкое стекло;
- собирателя – бутиловый ксантогенат натрия;
- вспенивателя – Т-80.

Контрольную свинцовую флотацию проводили в течение 4 минут, в качестве реагентов применяли:

- сульфидизатор свинцовых минералов – сульфид натрия;
- собиратель – бутиловый ксантогенат натрия;
- вспениватель – Т-80.

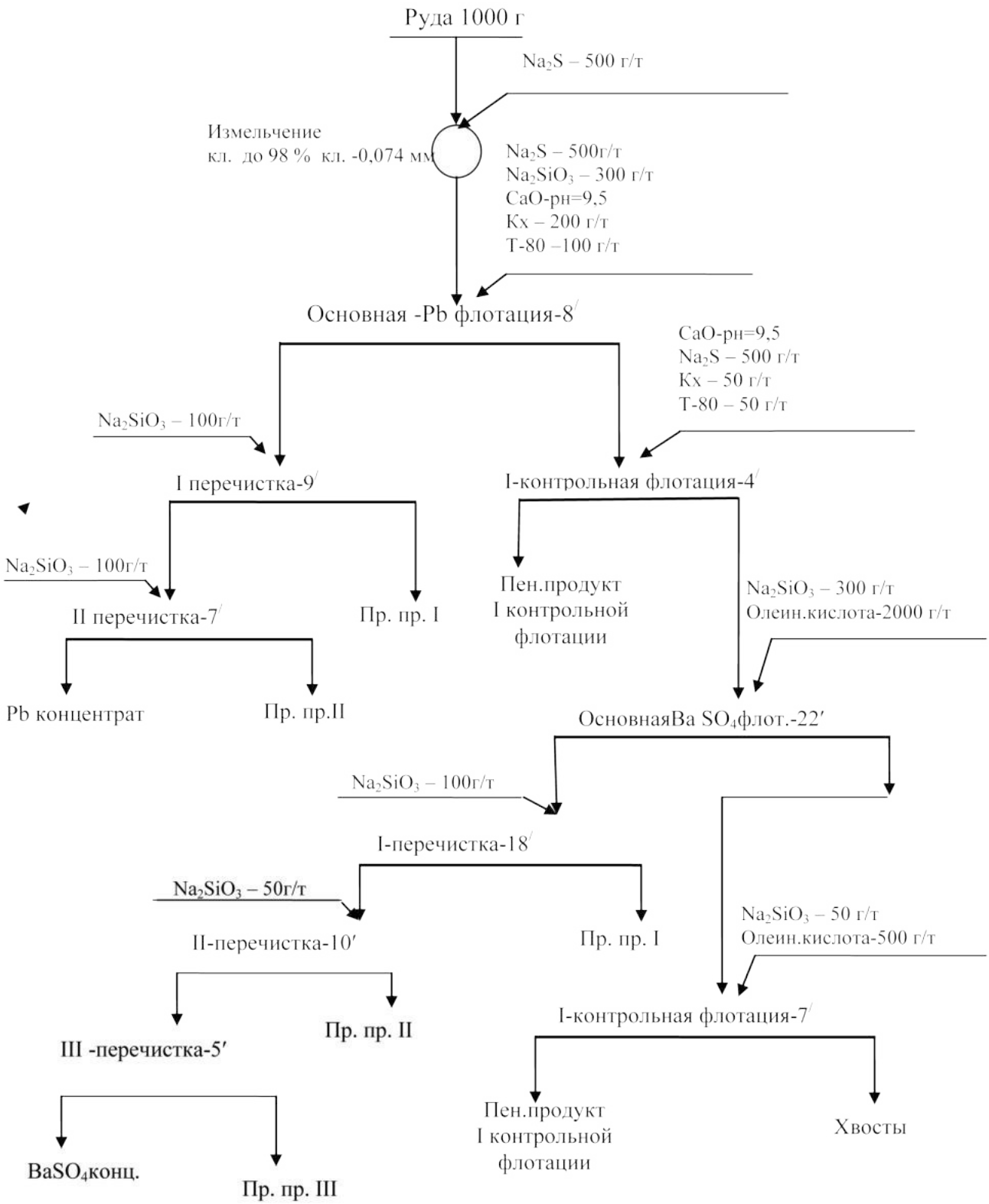


Рисунок 12 – Принципиальная схема обогащения руды месторождения Алашпай

Перечистки свинцового цикла проводили в течение 9 и 7 минут. В перечистки подавали жидкое стекло для депрессии пустой породы.

Основную баритовую флотацию проводили в течение 22 минут и использовали следующие реагенты в качестве:

- депрессора пустой породы – жидкое стекло;
- собирателя и вспенивателя – олеиновую кислоту или баритол.

Контрольную баритовую флотацию проводили в течении 7 минут, в качестве реагентов применяли:

- депрессор пустой породы – жидкое стекло;
- собиратель и вспениватель – олеиновая кислота или баритол.

В баритовом цикле проведены 3 перечистки в течение 18, 10 и 5 минут. В первой и второй перечистках добавляли жидкое стекло.

Исследования проводились при различном расходе сульфида натрия и бутилового ксантогената натрия в свинцовом цикле. Расход сульфида натрия менялся от 1500 до 2500 г/т, расход бутилового ксантогената – от 250 до 800 г/т. В баритовом цикле флотацию барита проводили с использованием различных собирателей барита – олеиновой кислоты (2500 г/т) и баритола (2000 г/т). Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай в свинцовом цикле представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай по предлагаемой принципиальной схеме в свинцовом цикле

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
Pbконц-т	0,9	*2,1*	12,8	*2,02*	0,31	Na_2S – 1500 г/т pH=9,5 Na_2SiO_3 – 500 г/т Кх – 250 г/т Т-80 – 150 г/т
Пр. пр 1	0,6	1,1	14,2	0,71	0,23	
Пр. пр 2	1,3	1,3	16,7	1,81	0,59	
Кон. контр.	0,3	0,6	14,2	0,19	0,12	
Хвосты	96,9	0,92	37,4	95,28	98,75	
Исход. руда	100	0,94	36,70	100	100	
Pbконц-т	3	*5,45*	17,4	*17,42*	1,42	Na_2S – 2500 г/т pH=9,5 Кх – 800 г/т Na_2SiO_3 – 500 г/т Т-80 – 150 г/т
Пр. пр 1	1,8	2,66	12,6	5,10	0,62	
Пр. пр 2	2,9	2,7	18,7	8,34	1,48	
Кон. контр.	1,3	0,2	16,5	0,28	0,59	
Хвосты	91	0,71	38,6	68,85	95,89	
Исход. руда	100	0,94	36,63	100	100	

Из результатов таблицы 5 следует, что, для данной пробы руды, несмотря на большой расход сульфидизатора сульфида натрия и собирателя бутилового ксантогената, флотация свинца затруднена из-за того, что

свинцовый минерал находится в виде англезита $PbSO_4$, что подтверждается ИК-спектроскопическим анализом. Данная форма свинцового минерала труднофлотируема. При предлагаемом реагентном режиме получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 5,45 % при извлечении 17,42 %. Показатели по свинцу низкие. При такой форме содержания свинца рекомендуются исследования по гравитационному способу извлечения свинца (тяжелые среды, концентрационный стол, центробежное оборудование).

Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай по предлагаемой принципиальной схеме в баритовом цикле представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай по предлагаемой принципиальной схеме в баритовом цикле

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
$BaSO_4$конц.	41,6	0,9	*61,3*	40,85	*69,65*	pH= 9,5 Na_2SiO_3 – 500 г/т Олеин. кислот. – 2500 г/т
Пр. пр. 1	6,3	1	28,9	6,87	4,97	
Пр. пр. 2	3,2	0,9	41,8	3,14	3,65	
Конц. контр.	5,1	1,1	29,7	6,12	4,14	
Хвосты	43,8	0,9	14,7	43,01	17,59	
Исход. руда	100	0,92	36,61	100	100	
$BaSO_4$конц.	48	0,9	*66,31*	62,08	*80,30*	pH= 9,5 Na_2SiO_3 – 500 г/т Баритол – 2000 г/т
Пр. пр. 1	5,3	1,2	26,3	9,14	3,52	
Пр. пр. 2	4,2	1,1	46,2	6,64	4,90	
Конц. контр.	3,8	1	30,1	5,46	2,89	
Хвосты	38,7	0,3	8,6	16,68	8,40	
Исход. руда	100	0,70	39,64	100	100	

В результате проведенных исследований по баритовому циклу для данной пробы руды показано, что при использовании в качестве собирателя барита олеиновой кислоты получен баритовый концентрат с содержанием барита 61,3 % при извлечении 69,65 %. При использовании баритола получен баритовый концентрат с содержанием барита 66,31 % при извлечении 80,3 %. Баритол позволяет увеличить содержание барита в концентрате на 6 %, извлечение барита в баритовый концентрат повышается на 10,65 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что для данной пробы свинцово-цинковой руды месторождения Алашпай наиболее подходящим является комбинированный способ обогащения – гравитационно-флотационный. Флотация свинца затруднена из-за того, что свинцовый минерал находится в виде труднофлотируемого англезита $PbSO_4$.

Поэтому в свинцовом цикле рекомендуются исследования по гравитационному способу извлечения свинца. Хвосты гравитации далее поступают на баритовый цикл, где барит обогащается флотационным методом.

3.4 Отработка технологических режимов флотации баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением модифицированных флотореагентов

3.4.1 Отработка технологических режимов флотации свинцового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированного реагентов

Проведены работы по отработке технологических режимов флотации свинцового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых реагентов. Исследования проводились на пробе № 2 с содержанием свинца 2,5 %.

Исследования по отработке технологических режимов флотации свинцового цикла руды месторождения Алашпай проводились с применением различного расхода сернистого натрия, жидкого стекла и бутилового ксантогената натрия (Бкс).

Проведен подбор оптимального расхода жидкого стекла. Расход жидкого стекла в исследованиях варьировался от 0 до 900 г/т, Результаты флотационного обогащения руды месторождения Алашпай в свинцовом цикле при различном расходе жидкого стекла представлены на рисунке 13. Схема флотации представлена на рисунке 14.Реагентный режим описан в разделе 2.

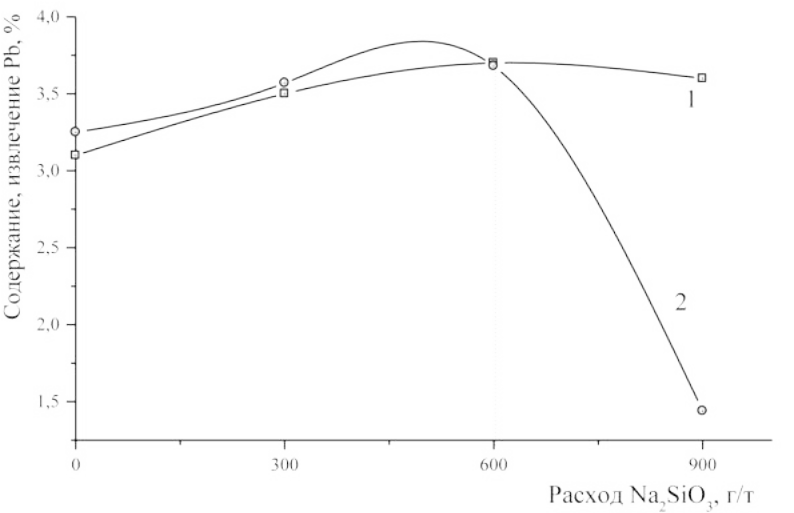


Рисунок 13 - Зависимость содержания свинца (1) и извлечения свинца (2) в свинцовый концентрат от расхода жидкого стекла

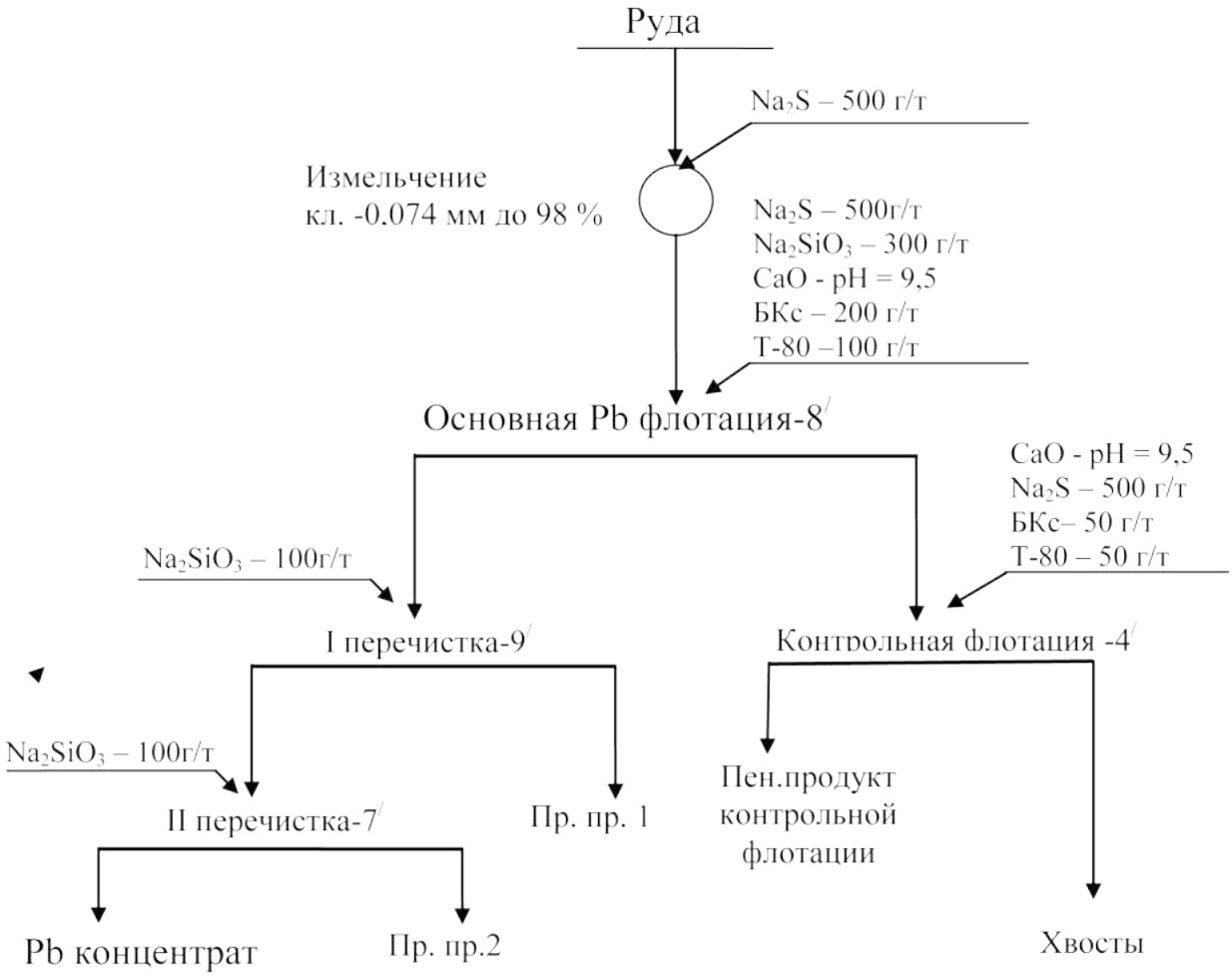


Рисунок 14 – Схема свинцовой флотации руды месторождения Алашпай

Из результатов рисунка 13 следует, что, оптимальным расходом жидкого стекла является расход 600 г/т. При этом получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 3,7 % при извлечении 3,68 %.

Далее проведены исследования по определению оптимального расхода сульфида натрия для сульфидизации окисленных свинцовых минералов. Расход сульфида натрия в опытах составлял от 500 до 2500 г/т. Результаты флотационного обогащения руды месторождения Алашпай в свинцовом цикле при различном расходе сульфида натрия представлены на рисунке 15.

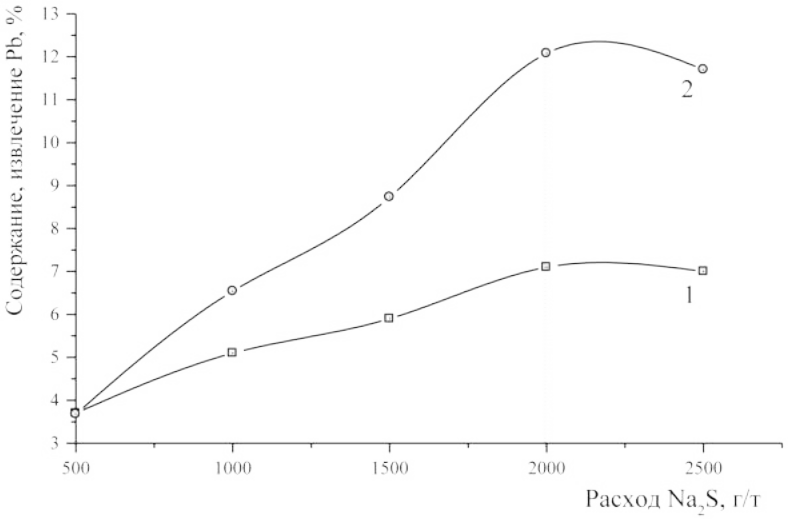


Рисунок 15 - Зависимость содержания свинца (1) и извлечения свинца (2) в свинцовый концентрат от расхода сульфида натрия

Из результатов рисунка 15 следует, что, оптимальным расходом сульфида натрия является расход 2000 г/т. При этом получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 7,1 % при извлечении 12,08 %.

Далее произведен подбор оптимального расхода бутилового ксантогената натрия в цикле свинцовой флотации. Расход ксантогената варьировался от 250 до 1000 г/т. Результаты флотационного обогащения руды месторождения Алашпай в свинцовом цикле при различном расходе сульфида натрия представлены на рисунке 16.

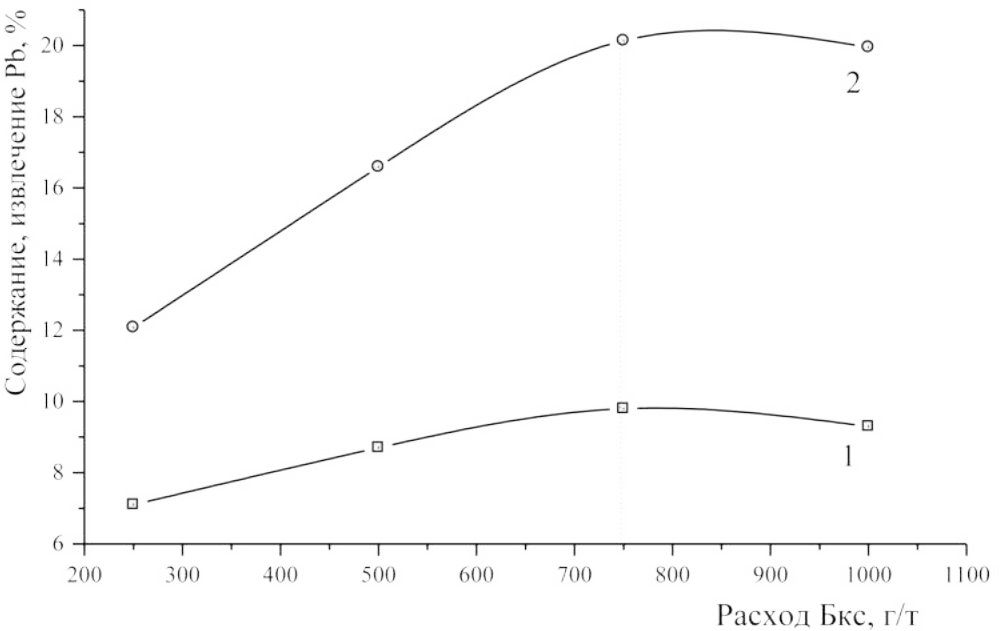


Рисунок 16 - Зависимость содержания свинца (1) и извлечения свинца (2) в свинцовый концентрат от расхода бутилового ксантогената натрия

Из результатов рисунка 16 следует, что, оптимальным расходом бутилового ксантогената натрия является расход 750 г/т. При этом получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 9,8 % при извлечении 20,14 %.

Для улучшения технологических показателей флотационного обогащения руды в свинцовом цикле был синтезирован модифицированный ксантогенат.

Далее проведена отработка технологических режимов флотации свинцового цикла руды месторождения Алашпай с применением модифицированного реагента.

Произведен подбор оптимального расхода модифицированного ксантогената в цикле свинцовой флотации. Расход его варьировался от 500 до 900 г/т. Результаты флотационного обогащения руды месторождения Алашпай в свинцовом цикле при различном расходе модифицированного ксантогената представлены на рисунке 17.

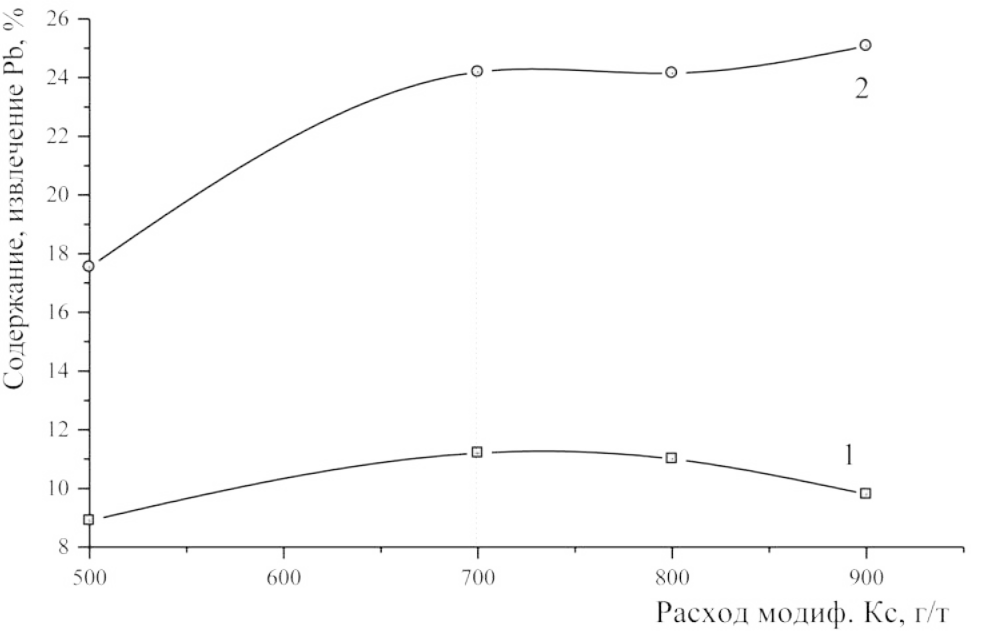


Рисунок 17 - Зависимость содержания свинца (1) и извлечения свинца (2) в свинцовый концентрат от расхода модифицированного ксантогената

При оптимальном расходе модифицированного ксантогената 700 г/т получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 11,2 % при извлечении 24,19 %. По сравнению с базовым бутиловым ксантогенатом содержание свинца в концентрате увеличилось на 1,4 %, извлечение – на 4,05 %. Расход модифицированного ксантогената по сравнению с базовым режимом уменьшился примерно на 7-8 %.

Таким образом, из данной пробы руды месторождения Алашпай, содержащей труднофлотируемые окисленные формы свинца, флотационным методом удалось извлечь около 24 % свинца.

3.4.2 Отработка технологических режимов флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированных реагентов

Проведены исследования по отработке технологических режимов флотации баритового цикла на камерном продукте свинцовой флотации пробы № 2 руды месторождения Алашпай с применением базовых реагентов.

Руду измельчали в лабораторной шаровой мельнице до 95,0 % кл. – 0,074 мм. Флотационные опыты проводились на лабораторных флотационных машинах ФМЛ–1 и ФМЛ–2. Измельченную руду направляли на свинцовую флотацию, а затем на флотационное извлечение баритового концентрата по схеме, представленной на рисунке 18.

Основную баритовую флотацию проводили в течение 16 минут и использовали следующие реагенты в качестве:

- депрессора пустой породы – жидкое стекло;

собирателя и вспенивателя – олеиновую кислоту или баритол.

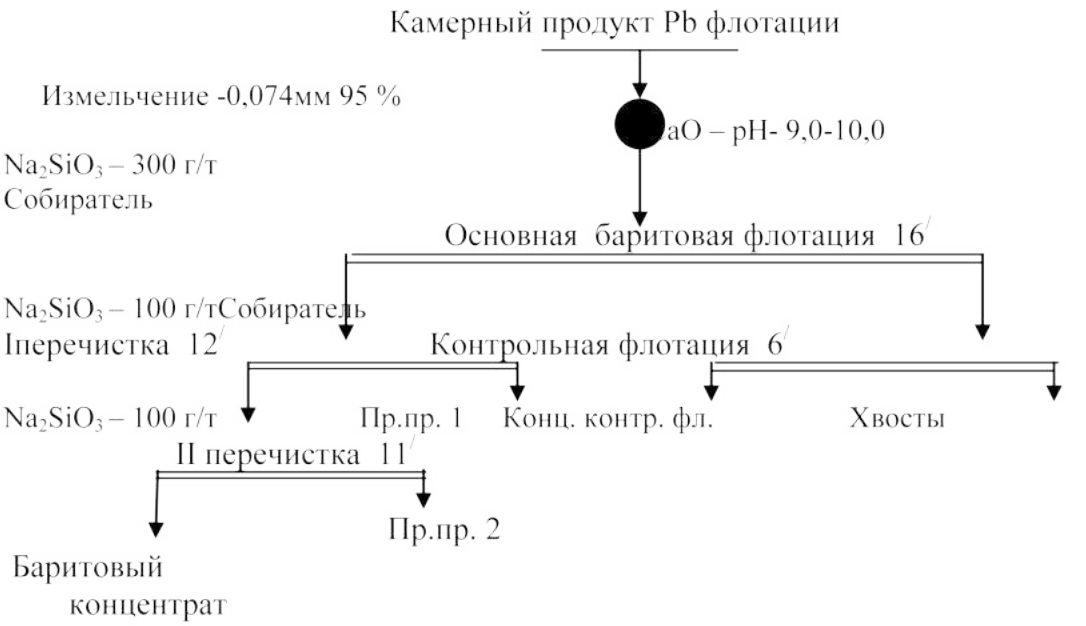


Рисунок 18 – Схема флотационного обогащения камерного продукта свинцовой флотации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай

Контрольную баритовую флотацию проводили в течение 6 минут, в качестве реагентов применяли для депрессии пустой породы жидкое стекло, собирателя и вспенивателя – олеиновую кислоту или баритол.

В баритовом цикле проведены 2 перечистки в течение 12 и 11 минут. В первой и второй перечистках добавляли жидкое стекло.

Исследования по баритовой флотации проводились при различном расходе олеиновой кислоты, баритола, с использованием ультразвуковой обработки при частоте 22 кГц. Оптимальный pH среды во флотации поддерживался в пределах 9-10. Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением баритового концентрата с различным расходом олеиновой кислоты с использованием ультразвуковой обработки представлены на рисунке 17. Расход жидкого стекла составлял 500 г/т. Расход олеиновой кислоты варьировался от 900 г/т до 1200 г/т.

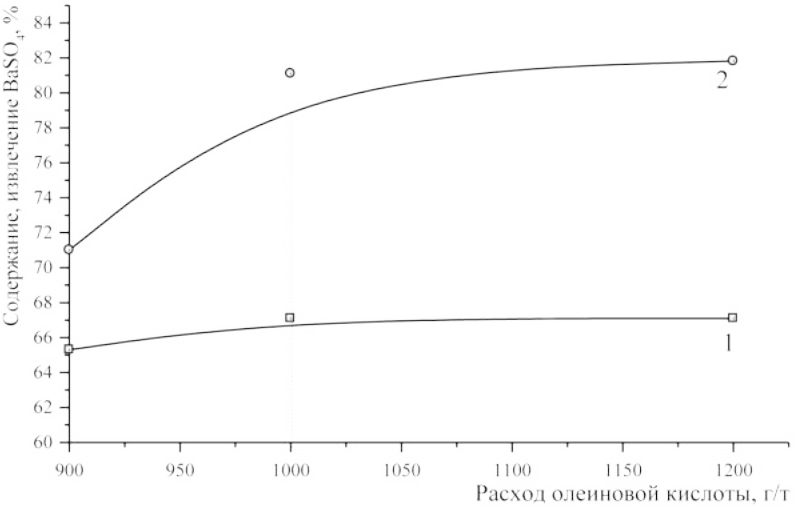


Рисунок 19 - Зависимость содержания барита (1) и извлечения барита (2) в баритовый концентрат от расхода олеиновой кислоты

В результате проведенных исследований по баритовому циклу для данной пробы руды показано, что при использовании в качестве собирателя барита олеиновой кислоты после ультразвуковой обработки с оптимальным расходом 1000 г/т получен баритовый концентрат с содержанием барита 67,1 % при извлечении 81,1 %.

Практика работы обогатительных фабрик России и Казахстана, перерабатывающих баритсодержащие руды, показала высокую эффективность применения для флотации реагента баритол, представляющего собой смесь алкилсульфатов, синтезируемых на основе узкой фракции первичных циглеровских жирных спиртов C_{16}-C_{20}. Проведены исследования по установлению оптимального расхода баритола для флотации руды месторождения Алашпай. Расход баритола составлял от 700 до 1000 г/т. Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением баритового концентрата с различным расходом баритолапредставлены на рисунке 20.

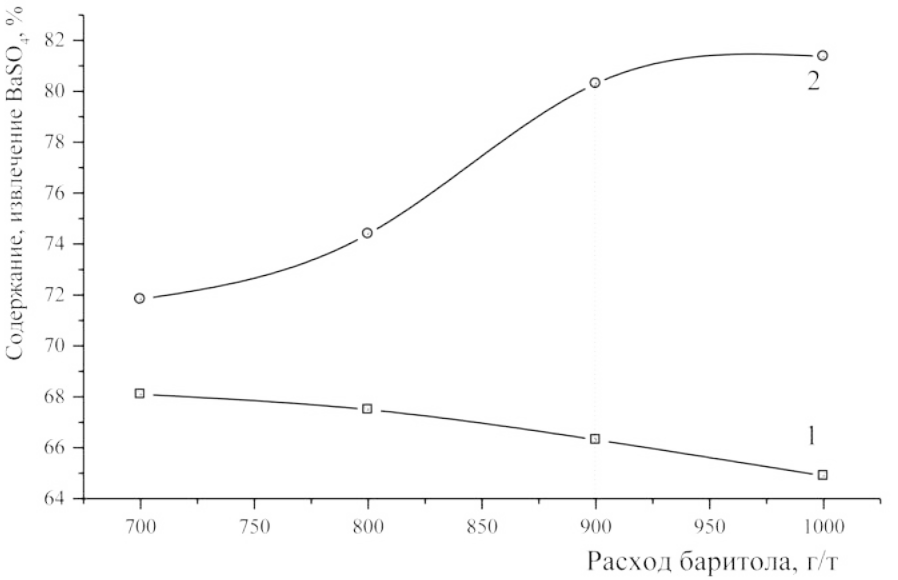


Рисунок 20 - Зависимость содержания барита (1) и извлечения барита (2) в баритовый концентрат от расхода баритола

Из результатов рисунка 20 следует, что оптимальным расходом баритола является 900 г/т. При этом получен баритовый концентрат с содержанием барита 66,31 % при извлечении 80,3 %. Расход баритола по сравнению с олеиновой кислотой уменьшается на 100 г/т.

Проведены исследования по кондиционированию пульпы перед флотацией, т.е. замене места подачи жидкого стекла и собирателя баритовых минералов. В отличие от предыдущих опытов перед баритовой флотацией сначала подавался собиратель барита (олеиновая кислота или баритол), а затем жидкое стекло (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты флотационного обогащения свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с кондиционированием пульп

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
$BaSO_4$конц-т	47,6	1,7	**67,1**	44,76	**81,10**	Олеин. кислота – 1000 г/т с УЗДН Na_2SiO_3 – 500 г/т
Пр. пр. 1	5,9	1,8	21,4	5,87	3,21	
Пр. пр. 2	4,4	2,3	37,8	5,6	4,22	
Конц. контр. фл.	4,3	1,7	26,8	4,04	2,93	
Хвосты флот.	37,8	1,9	8,9	39,73	8,54	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,808	39,38	100	100	
$BaSO_4$конц-т	48,5	1,9	**68,3**	48,62	**84,07**	Олеин. кислота – 1000 г/т с УЗДН Na_2SiO_3 – 400 г/т
Пр. пр. 1	5,3	1,8	19,6	5,03	2,64	
Пр. пр. 2	3,9	2	35,2	4,12	3,48	
Конц. контр. фл.	3,2	1,8	24,2	3,04	1,97	
Хвосты флот.	39,1	1,9	7,9	39,19	7,84	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,895	39,40	100	100	

Продолжение таблицы 7

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
$BaSO_4$конц-т	48,0	1,7	**66,31**	45,97	**80,30**	Баритол – 900 г/т Na_2SiO_3 – 500 г/т
Пр. пр. 1	5,3	1,9	26,3	5,67	3,52	
Пр. пр. 2	4,2	2,4	46,2	5,68	4,90	
Конц. контр. фл.	3,8	1,6	30,1	3,43	2,89	
Хвосты флот.	38,7	1,8	8,6	39,25	8,40	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,775	39,64	100	100	
$BaSO_4$конц-т	48,2	1,8	**67,8**	47,67	**82,13**	Баритол – 900 г/т Na_2SiO_3 – 400 г/т
Пр. пр. 1	5,1	2	23,1	5,6	2,96	
Пр. пр. 2	4,3	2,1	38,7	4,96	4,18	
Конц. контр. фл.	3,2	1,7	29,3	2,99	2,36	
Хвосты флот.	39,2	1,8	8,5	38,77	8,37	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,82	39,79	100	100	

В результате этого в случае применения олеиновой кислоты получен баритовый концентрат с содержанием барита 68,3 % при извлечении 84,07 %. При использовании баритола получен баритовый концентрат с содержанием барита 67,8 % при извлечении 82,13 %. Расход жидкого стекла при этом снижается на 100 г/т и составляет 400 г/т. Такой метод кондиционирования пульпы позволяет повысить содержание барита в баритовом концентрате на 1,0-1,5 % и извлечение барита в концентрат на 2-3 %.

Далее проведены исследования по отработке технологических режимов флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением модифицированного реагента.

Проведены исследования по установлению оптимального расхода модифицированного реагента для флотации хвостов гравитации руды месторождения Алашпай. Расход его составлял от 600 до 1000 г/т. Результаты флотационного обогащения хвостов гравитации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением баритового концентрата с различным расходом модифицированного реагента представлены на рисунке 21. Расход жидкого стекла во флотации составлял 500 г/т, pH среды поддерживался в пределах 9,5-10,0.

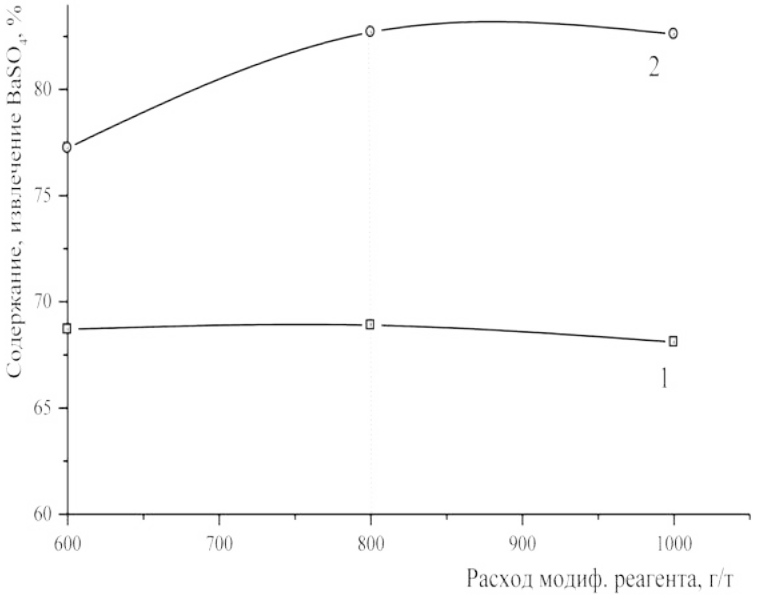


Рисунок 21 - Зависимость содержания барита (1) и извлечения барита (2) в баритовый концентрат от расхода модиф.реаг.

Из результатов следует, что оптимальным расходом модифицированного собирателя является 800 г/т. При этом получен баритовый концентрат с содержанием барита 68,9 % при извлечении 82,69 %.

Результаты флотационного обогащения хвостов гравитации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением баритового концентрата с оптимальным расходом модифицированного реагента в сравнении с олеиновой кислотой и баритолом представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты флотационного обогащения хвостов гравитации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением баритового концентрата с оптимальным расходом модифицированного реагента в сравнении с олеиновой кислотой и баритолом

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
$BaSO_4$конц-т	47,6	1,7	*67,1*	44,76	*81,10*	Олеин. кислота – 1000 г/т с УЗДН
Пр. пр. 1	5,9	1,8	21,4	5,87	3,21	
Пр. пр. 2	4,4	2,3	37,8	5,6	4,22	
Конц. контр. фл.	4,3	1,7	26,8	4,04	2,93	
Хвосты флот.	37,8	1,9	8,9	39,73	8,54	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,81	39,38	100	100	
$BaSO_4$конц-т	48,0	1,7	*66,31*	45,97	*80,30*	Баритол – 900 г/т
Пр. пр. 1	5,3	1,9	26,3	5,67	3,52	
Пр. пр. 2	4,2	2,4	46,2	5,68	4,90	
Конц. контр. фл.	3,8	1,6	30,1	3,43	2,89	
Хвосты флот.	38,7	1,8	8,6	39,25	8,40	

Продолжение таблицы 8

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,77	39,64	100	100	Баритол – 900 г/т
$BaSO_4$конц-т	47,9	1,8	*68,9*	46,65	*82,69*	Модиф. собиратель – 800 г/т
Пр. пр. 1	6,1	1,9	19,6	6,27	3,00	
Пр. пр. 2	5,1	2,1	35,2	5,79	4,50	
Конц. контр. фл.	5,4	2,3	22,6	6,72	3,06	
Хвосты флот.	35,5	1,8	7,6	34,57	6,76	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,84	39,91	100	100	

Содержание барита в баритовом концентрате, по сравнению с применением олеиновой кислоты, обработанной ультразвуком, увеличивается примерно на 2 % (с 67,1 до 68,9 %), извлечение повышается на 1,6 % (с 81,1 до 82,69 %). Расход модифицированного собирателя по сравнению с олеиновой кислотой уменьшается на 200 г/т.

3.5 Укрупненно-лабораторные испытания флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированного реагентов

Барит относится к числу сравнительно хорошо флотирующихся минералов. Для его флотации применяются олеиновая кислота, талловое масло в смеси с керосином, окисленный рисайкл, сульфатное мыло, нафтеновые кислоты, асидол. Хорошими собирателями барита являются алкилсульфаты, особенно в кислой среде, а также алкилбензолсульфонаты [9-11].

В последнее время олеиновая кислота заменяется реагентами ВС-2, ВС-4, ДНС-ВН, эфирокислотами [12-15].

Кроме того, используют сочетание карбоксильных собирателей с хлорамином Б в соотношении 1:0,25÷1:3, а для снижения расхода жидкого стекла добавляют полиалюмосиликат натрия. В некоторых случаях в качестве активатора барита используют NaOH или Na_2CO_3 (0,5–1,5 кг/т).

Проведены работы по проведению укрупненно-лабораторных испытаний флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай в замкнутом цикле с применением модифицированного собирателя в сравнении с базовыми реагентами олеиновой кислотой и баритолом.

Баритовый цикл флотации проводили на камерном продукте свинцовой флотации. Флотационная схема включала в себя основную баритовую флотацию, контрольную баритовую флотацию и две перечистки баритового концентрата. Доизмельчение хвостов гравитации проводили до 65 % содержания класса -0,074 мм. Основную баритовую флотацию проводили в течение 16 минут и использовали следующие реагенты: в качестве

регулятора среды - известь; депрессора пустой породы – жидкое стекло; собирателя – олеиновую кислоту, баритол, модифицированный собиратель.

Контрольную баритовую флотацию с применением собирателя проводили в течение 6 минут. Перечистки баритового цикла проводили в течение 12 и 11 минут. В перечистки подавали жидкое стекло для депрессии пустой породы. Расход жидкого стекла во флотации составлял 500 г/т, pH среды поддерживался в пределах 9,5-10,0.

Схема укрупненно-лабораторных испытаний флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай в замкнутом цикле представлена на рисунке 22. Результаты укрупненно-лабораторных испытаний флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением модифицированного собирателя в сравнении с базовыми реагентами представлены в таблице 9.

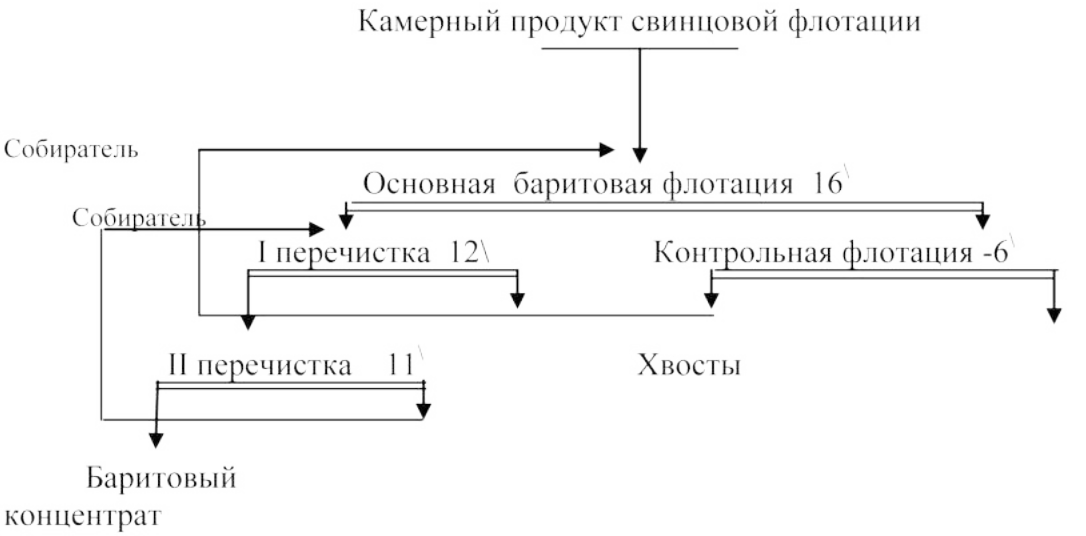


Рисунок 22 – Схема флотационного обогащения баритового цикла руды месторождения Алашпай в замкнутом цикле

Таблица 9 – Результаты укрупненно-лабораторных испытаний флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением модифицированного собирателя в сравнении с базовыми реагентами

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
$BaSO_4$ концентрат	54,2	1,9	*68,6*	55,54	*91,13*	Олеин. кислота – 1000 г/т с УЗДН
Хвосты флотации	45,8	1,8	7,9	44,46	8,87	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,854	40,8	100	100	
$BaSO_4$ концентрат	55,3	1,8	*69,1*	53,96	*94,06*	Баритол – 900 г/т
Хвосты флотации	44,7	1,9	5,4	46,04	5,94	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,845	40,63	100	100	
$BaSO_4$ концентрат	55,9	1,9	*69,3*	55,9	*95,33*	Модиф. собиратель – 800 г/т
Хвосты флотации	44,1	1,9	4,3	44,1	4,67	
Камер. пр. Pbфл.	100	1,9	40,64	100	100	

Оптимальный расход олеиновой кислоты, обработанной ультразвуком, составлял 1000 г/т, баритола – 900 г/т, модифицированного собирателя – 800 г/т. Из результатов таблицы 25 следует, что в замкнутом цикле при использовании в качестве собирателя барита олеиновой кислоты, получен баритовый концентрат с содержанием барита 68,6 % при извлечении 91,13 %. При применении баритола, получен баритовый концентрат с содержанием барита 69,1 % при извлечении 94,06 %. При использовании модифицированного собирателя, получен баритовый концентрат с содержанием барита 69,3 % при извлечении 95,33 %.

Извлечение барита в баритовый концентрат, полученный в замкнутом цикле с применением модифицированного собирателя, по сравнению с применением олеиновой кислоты, обработанной ультразвуком, увеличивается примерно на 4-5 % (с 91,13 до 95,33 %). Расход модифицированного собирателя по сравнению с олеиновой кислотой уменьшается на 200 г/т.

Таким образом, использование модифицированного собирателя позволяет улучшить технологические показатели флотации барита в баритовый концентрат.

Выводы

Определены оптимальные параметры флотационного обогащения баритсодержащей руды. Изучен вещественный состав баритсодержащей руды месторождения Алашпай.

Отработан технологический режим флотации баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированных флотореагентов. По результатам химического анализа в руде содержится 30,71 % $BaSO_4$, 18,52 % Ba, 1,33 % свинца, 7,89 % Fe_2O_3, 3,81 % $S_{общ}$. Результаты гранулометрического анализа руды показывают, что основное количество свинца (83,41 %) и барита (68,1 %) находится в классе крупнее 0,2 мм.

В качестве принципиальной схемы флотации свинцово-баритовой руды принята прямая селективная схема, состоящая из свинцового и баритового циклов. Свинцовый цикл состоит из основной, контрольной свинцовой флотации и двух перечисток свинцового концентрата, баритовый цикл состоит из основной, контрольной баритовой флотации и трех перечисток баритового концентрата. В свинцовом цикле в качестве базовых использовали следующие реагенты: сульфид натрия в качестве сульфидизатора, жидкое стекло в качестве депрессора пустой породы, бутиловый ксантогенат натрия в качестве собирателя и Т-92 в качестве вспенивателя. В баритовом цикле в качестве базовых использовали следующие реагенты: жидкое стекло в качестве депрессора пустой породы, в качестве собирателя и вспенивателя – олеиновую кислоту или баритол.

По базовому режиму получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 9,8 % при извлечении 20,14 %; баритовый концентрат с содержанием барита 67,1 % при извлечении 81,1 % (олеиновая кислота); баритовый концентрат с содержанием барита 66,31 % при извлечении 80,3 % (баритол).

С использованием модифицированных реагентов получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 11,2 % при извлечении 24,19 %, баритовый концентрат с содержанием барита 68,9 % при извлечении 82,69 %.

Укрупненно-лабораторные испытания флотации баритового цикла руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированного реагентов показали, что при использовании в качестве собирателя барита олеиновой кислоты, получен баритовый концентрат с содержанием барита 68,6 % при извлечении 91,13 %. При применении баритола, получен баритовый концентрат с содержанием барита 69,1 % при извлечении 94,06 %. При использовании модифицированного собирателя, получен баритовый концентрат с содержанием барита 69,3 % при извлечении 95,33 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен аналитический обзор по месторождениям сульфидно-баритовых руд. Сделан анализ технологий обогащения свинец- и баритсодержащих руд. Богатые существенно-баритовые руды обычно обогащаются промывкой и ручной сортировкой, а в некоторых случаях используются без предварительного обогащения. Наиболее легко обогащаются песчано-глинисто-баритовые руды элювиальных россыпей: барит может быть получен после промывки и сортировки. Основная масса существенно-баритовых, кварц- и кальцит-баритовых руд обогащается методами гравитации с применением процессов обогащения в тяжелых суспензиях, отсадки и концентрации на столах или шлюзах мелких классов – 0,5мм. Схемы обогащения стадиальные в зависимости от текстурно-структурных особенностей руд. Основным методом обогащения для извлечения барита из тонковкрапленных и комплексных руд является флотация. Для повышения извлечения барита предлагается флотационная схема переработки с использованием модифицированного реагента, полученного на основе отхода масложирового производства - соапстока.

Получены новые реагенты-собиратели: модифицированный ксантогенат в качестве собирателя минералов свинца и модифицированный реагент на основе соапстока в качестве собирателя минералов барита.

Изучен вещественный состав свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай. Сделаны минералогический, химический, спектральный и рентгено-фазовый анализы. По результатам химического анализа в руде содержится 30,71 % $BaSO_4$, 18,52 % Ba, 1,33 % свинца, 7,89 % Fe_2O_3, 3,81 % $S_{общ}$. По результатам полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз в руде содержится: барит $BaSO_4$ 36 %; кварц SiO_2 58 %; каолинит $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$6 %. Результаты гранулометрического анализа руды показывают, что основное количество свинца (83,41 %) и барита (68,1 %) находится в классе крупнее 0,2 мм.

Проведены исследования по подбору принципиальной технологической схемы флотационного обогащения пробы №1 свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай.

Отработан технологический режим флотации пробы №2 баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением базовых и модифицированных флотореагентов.

По базовому режиму получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 9,8 % при извлечении 20,14 %; баритовый концентрат с содержанием барита 67,1 % при извлечении 81,1 % (олеиновая кислота); баритовый концентрат с содержанием барита 66,31 % при извлечении 80,3 % (баритол). С использованием модифицированных реагентов получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 11,2 % при извлечении 24,19 %, баритовый концентрат с содержанием барита 68,9 % при извлечении 82,69 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Абишев Д.Н., Агашкин О.В., Айсаутов М.А. и др. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения. Теория и технология обогащения природного и техногенного минерального сырья: в 10 т. – Алматы, 2008.- Т.2. - С. 50-55.

2 Студенцов В.В., Ниязов А.А., Абевова Т.А. Тенденция развития переработки баритсодержащих руд в отечественной и зарубежной практике (Аналитический обзор).- Алматы, 1999.- 120 с.

3 Боданов О.С., Гольман А.М., Каковский И.А. и др. Физико-химические основы флотации.- М.: Недра, 1995.- 230 с.

4 Курков А.В. Развитие идей С.И. Полькина в теории и практике флотационного обогащения несульфидных руд //Материалы V Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 23-25 марта 2005.-Т.3.- С.30-34.

5 Брагина И., Брагин В.И. Обогащение нерудных полезных ископаемых.- ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1995.- 192 с.

6 Брагина И., Брагин В.И. Технология обогащения горно-химического сырья.- ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1995.- 195 с.

7 Андреева Г.С., Горюшкина С.Я., Небера В.П. Переработка и обогащение полезных ископаемых россыпных месторождений. – М.: Недра, 1992.- 410 с.

8 Богидаев С.А., Руденко М.Б. Матер. Междунар. совещ.: Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов и прогрессивные технологии их переработки (Плаксинские чтения - 2004), Иркутск, 13-17 сент. 2004.- Изд. Альтекс, М.- 2004.- С.199.

9 Богданович А.В., Шумская Е.Н., Леман Е.П., Козлов Г.Г. Технология обогащения баритовой руды Хойлинского месторождения физическими методами //Обогащение руд.- 1997.- № 6.- С. 10-14.

10 Гагниадзе Ц.М., Мампория М.Г., Адамия Т.М. К вопросу переработки флотационного концентрата хвостов барит-полиметаллической руды // Прогрессивные методы обогащ. и технологии глубокой перераб. руд цвет., редких и платин. металлов //Сб. науч. тр., Красноярск.- 2006.- С.87–88.

11 Высотин В.В., Руденко М.Б. Определение оптимальных условий флотации баритсодержащих руд с использованием комплексного собирателя //Вестник ИрГТУ.- № 4 (32).- 2007.- С.85-88.

12 Селиванова Н.В., Тропман Э.П. и др. Применение новых флотореагентов при обогащении полиметаллических баритсодержащих руд //Цветные металлы.- 1990.- № 12.- С.50-53.

13 Тропман Э.П., Деут А.О., Грицай С.Г., Селиванова Н.В. Модифицирование жировых отходов и полупродуктов для повышения эффективности флотации несульфидных руд //5 Международная научно-техническая конференция ВТУ. Экология речных бассейнов, г.Владимир.- 2009.- С.180-182.

14 Селиванова Н.В., Сафин Х.Ш., Тропман Э.П., Камдин Н.А. О сорбции некоторых жирнокислотных собирателей на несульфидных рудах // Цветные металлы.- 1989.- № 5.- С.40-43.

15 AvishanAtrafi and MarekPawlik Frothing behaviour and adsorption mechanism of sodium oleate at the gas-solution interface //XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC) 2012 (India).-PaperNo. 569.

16 Рябой В.И. Развитие работ по флотореагентам в институте «Механобр» //Обогащение руд.- 1994. - № 1. - С.116.

17 Комлев А.М., Захарова Л.Н., Вершинин Е.А. Конструирование и флотационные свойства ряда новых реагентов //Обогащение руд.- 1980. - № 6. С.29-33.

18 Логинов Г.М., Рябой В.И. Технологические вопросы применения собирателей различного строения при флотации барита //Обогащение руд. - 1987. - № 2. - С.11-14.

19 Ниязов А.А., Ефремова Э.А., Трофимов В.И., Абилдиев Б.А., Омаров А.М. и др. Использование соды при флотации барита //Цветные металлы. -1989. - № 7. - С.124 - 125.

20 Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Технология обогащения полезных ископаемых.- М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004.- Т.2.- 510 с.

21 Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Баритовые руды.- М.: Недра, 2007.- 38 с.

22 Ахманов Г.Г., Васильев И.Г., Булаткина Т.А., Егорова И.П. Сырьевая база барита и перспективы ее развития //Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. -1995. - № 5. - С. 13-18.

23 Абрамов А.А. Теоретический анализ механизма образования сорбционного слоя анионного собирателя и гидрофобизации поверхности минералов //Цветные металлы. - 2005.- № 11. - С.19-27.

24 Абрамов А.А., Магазаник Д.В. Теоретическое обоснование оптимальных значений концентрации собирателя и pH пульпы при флотации несульфидных минералов //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.- 2006.- № 1.- С.18-26.

25 Жанбатыров А.А. Перспективы развития полиметаллического производства Жайрем-Атасуйского рудного района //Вестник ВКГТУ. Геология. Горное дело. Металлургия.- 2010. – № 3.- С. 19-24.

26 Жанбатыров А.А. Консервация месторождения Жайрем (Дальнезападный и Западный участки) //Вестник ВКГТУ. Геология. Горное дело. Металлургия.- 2010.-№ 3. – С. 13-19.

27 Абрамов А.А. Флотация. Реагенты-собиратели. - М.: Издательство «Горная книга», 2012.- Т.7.- 655 с.

28 Иванова В.А., Митрофанова Г.В., Шлыкова Г.А. Создание новых реагентов-собирателей для флотации несульфидных минералов на основе

химического модифицирования алкил (алкенил) янтарных кислот //Сб. Оптимизация процессов обогащения минерального сырья.- Апатиты: Изд-во КНЦ РАН.- 2001.- С.69-83.

29 Высотин, В.В., Гудвилл М.Н., Богидаев С.А. Новые флотационные реагенты для флотации кварц-баритовой руды //Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ.- Т. II. - М.: Альтекс.- 2007.- С.166-167.

30 Тян В.Д. Комплексное использование баритовых руд Жайремского месторождения //Комплексное использование минерального сырья.-1992.- № 6.- С.39–45.

31 MoenkeH., Mineralspektren, Acad. Verlag, Berlin, 1962.- С.120-124.

32 Власов А.Г., Флоринская В.А. и др. Инфракрасные спектры неорганических стекол и кристаллов.- Л.: Химия, 1972.- С.68-70.

33 HR Aldrich FT-IR Collection Edition II (18454 spectra).- 2008.- С.89-95.

34 Тропман Э.П., Тусупбаев Н.К., Михайлов А.М., Арабаев Р.А. Влияние некоторых физико-химических характеристик на флотационные свойства диалкилдитиофосфатов, полученных путем комбинирования исходного сырья // Цветные металлы. - 2008. - № 5. - С. 15-18.

35 Глазунов Л.А., Глазунов А.Л. Аспекты повышения эффективности флотации полиметаллических руд // Цветные металлы. – 2008. - № 9. - С. 13-16.

36 Тютюнников Б.Н. Химия жиров. - М.: Химия, 1992. – 540 с.

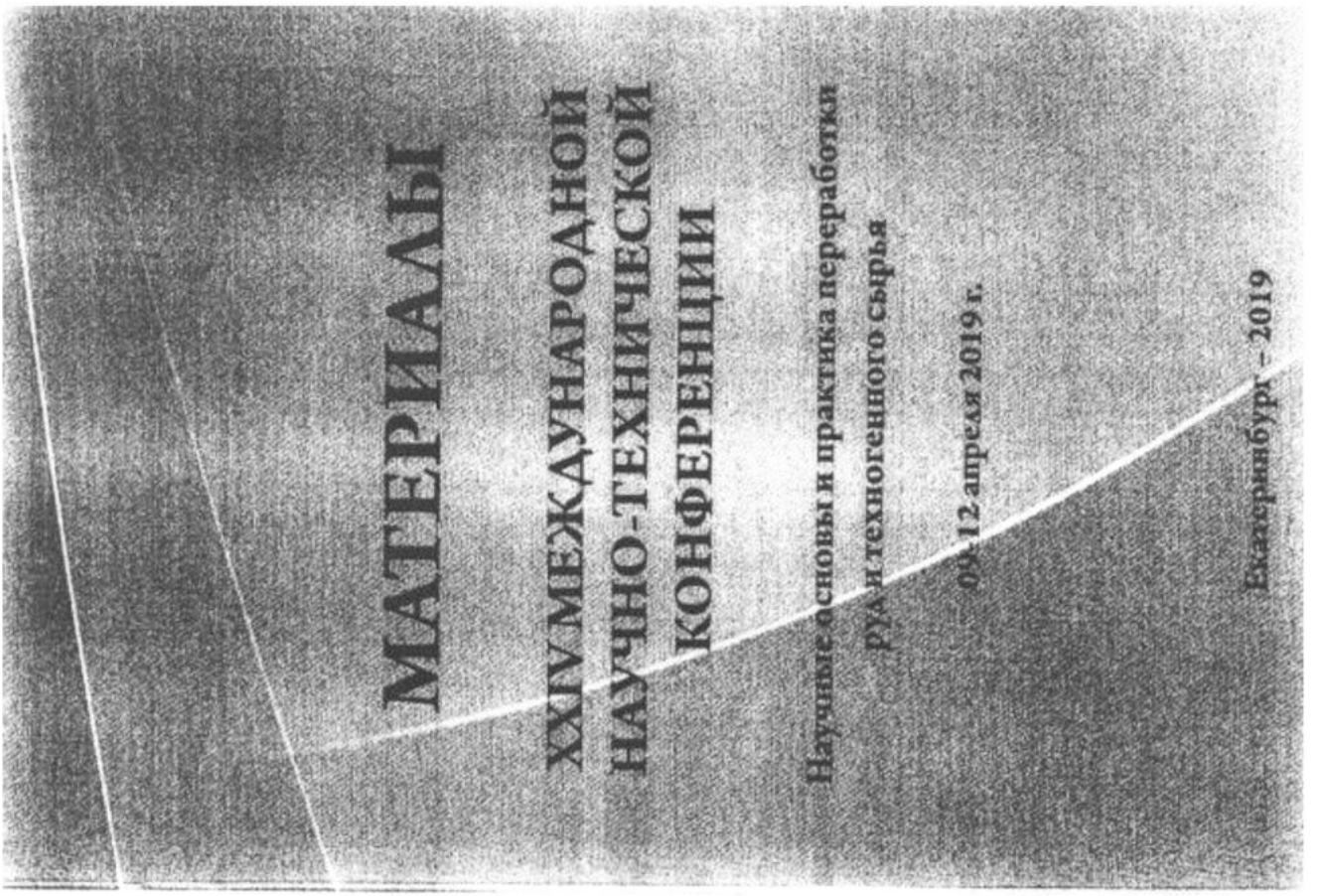
37 Брайен Р.О. Жиры и масла. – Санкт - Петербург: Профессия, 2007. – С. 232-237.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Список опубликованных работ по теме диссертаций

1. Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Сатыханова А., Садык Б. Определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды // XXIV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 9-12 апреля 2019.- С.293-296.

2 Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Мусина М.М., Садык Б. Флотационное обогащение баритсодержащей руды // XXV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 07-10 апреля 2020.- С. 142-145.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Оттискиопубликованных работ по теме диссертаций



Химический состав немагнитной фракции, масс %: 0,22 Fe; 0,8 TiO; 21,1 Al_2O_3; 20,3 SiO_2; 45,8 CaO; 0,3 Na_2O; 0,055 ∑РЗЭ; п п. 2,425.

Для извлечения РЗЭ немагнитную фракцию шлака чугуна обрабатывали раствором азотной кислоты, содержащей 7,5 моль/дм^3 HNO_3 при температуре 60 °С, отношении Т:Ж = 1:3 и продолжительности 1 час.

В результате выщелачивания в раствор перешло ~ 96 % РЗЭ, ~ 98 % кальция и алюминия и 50 % железа.

Химический состав азотнокислого раствора выщелачивания, г/дм^3: 68,9 Al_2O_3; 149,6 CaO; 0,37 Fe; 0,176 ∑РЗЭ.

Извлечение РЗЭ из азотнокислого раствора выщелачивания в концентрат проводили методом экстракции. Для экстракции РЗЭ из азотнокислого раствора в органическую фазу использовали трибутилфосфат (ТБФ). Для проведения экстракции оптимальным является концентрация ТБФ 1 моль/дм^3 при отношении О:В=1:4 и продолжительности 5 минут. В этих условиях извлечение РЗЭ в экстрагент составило 95,1 %. Увеличение времени экстракции не привело к дополнительному извлечению РЗЭ.

Реэкстракцию РЗЭ проводили водой.

С увеличением частей объемов органической фазы от 2 до 6 извлечение ∑РЗЭ в реэкстракт уменьшается от 99,95 до 95,8 %. Оптимальным является соотношение О:В, равном 6:1, при этом извлечение составляет 95,8 % при максимальной концентрации ∑РЗЭ в водной фазе –3,85 г/дм^3.

Водный раствор после реэкстракции РЗЭ при соотношении О:В = 6:1, имел следующий состав, г/дм^3: ∑РЗЭ – 3,85; кальций –18,2; железо – 5,86.

Из реэкстракта осаждали осадок РЗЭ с применением раствора щавелевой кислоты концентрацией 2 моль/дм^3 в количестве 100 % и 150 % от необходимого по стехиометрии реакций образования оксалатов РЗЭ, кальция и железа (таблица 2).

Таблица 2 – Извлечение металлов в оксалатный осадок из реэкстракта

% $H_2C_2O_4$ от стехиометрии	Состав осадка, %			Извлечение в осадок, %		
	∑РЗЭ	Ca	Fe	∑РЗЭ	Ca	Fe
100	3,06	6,44	3,24	78,3	35,4	55,3
150	3,72	17,2	5,85	95,2	94,3	99,9

Для получения концентратов РЗЭ осадки (таблица 2) после промывки и сушки при 105 °С прокалили в муфельной печи при 900 °С в течение 2-х часов.

Химический состав 1 концентрата РЗЭ , масс. %: 2,85 Sc; 1,19 La; 0,71 Gd; 0,22 Y; 0,014 Yb; 0,037 Pr; 0,39 Sm; 9,51 Ce; 0,15 Dy; 0,52 Er; 0,042 Eu; 0,99 Hf; ∑окс.РЗЭ – 17,74.

Химический состав 2 концентрата РЗЭ, масс. %: 3,62 Sc; 2,4 La; 0,88 Nd; 0,26 Y; 0,021 Yb; 0,064 Pr; 0,48 Sm; 11,69 Ce; 0,18 Dy; 0,66 Er; 0,075 Eu; 1,39 Hf; ∑окс.РЗЭ – 21,58.

Таким образом, в результате проведенных работ из красного шлама получены концентраты РЗЭ с содержанием, масс. %: ∑окс.РЗЭ – 17,74 и 21,58.

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК по гранту № AP05130549.

Список литературы

1. Akcil A., Akhmadiyeva N., Abdulvaliyev R., Meshram A., Meshram P. Overview of extraction and separation of rare earth elements from red mud: focus on scandium // Mineral Processing and Extractive metallurgy review 39, -2018.-No.3. -P. 145-151.

2. Ахмадиева Н.К., Абдулвалиев Р.А., Акчил А., Гладышев С.В., Кульдеев Е.И. Красный шлам глиноземного производства как потенциальный источник для получения редкоземельных элементов. Обзор. // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – №4. – С. 98-104.

3. Borra C.R., Pontikes Y., Binnemans K., Gerven T.V. Leaching of rare earthes from bauxite residue (red mud). // Minerals Engineering. – 2015. - №76. - P. 20-27.

4. Ujaczki E., Zimmerman Y-S., Feigl V., Lenz M. Recovery of rare earth elements from Hungarian red mud with combined acid leaching and liquid-liquid extraction // Bauxite residue valorization and best practices conference: Proceedings. - Leuven: Belgium, 2015. - P.1-7.

5. Заключение о выдаче патента на изобретение № 1748 от 17.01.2019 г. Способ переработки красного шлама /Кенжалиев Б.К., Ахмадиева Н.К., Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Омарова С.А., Манапова А.И., Зиновьева Л.В.

УДК 622.765

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ БАРИТСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ

Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Сатыханова А., Садык Б.

Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан

Обогащение баритовых руд заключается в отделении барита от сопутствующих примесей. В зависимости от свойств руды для достижения этой цели применяют различные методы [1]. Удаление глинистых и охристых примазок достигается промывкой руды. Для более тщательной очистки барита от окрашиваемых примесей его обрабатывают растворами минеральных кислот (чаще всего соляной и серной). Отделение барита от сравнительно крупных включений кварца и кальцита вследствие достаточной разницы в плотности легко осуществляется гравитационными методами обогащения. С помощью этих же методов легко отделить от барита галенит, значительно отличающийся от него по плотности. По минеральному

составу баритовые руды подразделяются на существенно баритовые, кварц-баритовые, кальцит-баритовые, флюорит-баритовые, сульфидно-баритовые, железо-баритовые, железо-флюоритовые, а также глинисто-песчано-баритовые, что в свою очередь влияет на выбор того или иного метода обогащения [1-3]. Создание эффективной технологии обогащения баритсодержащей руды, которая будет способствовать повышению извлечения полезных компонентов и улучшению качества получаемых концентратов, является актуальной задачей.

В работе представлены результаты исследований по определению оптимальных параметров обогащения баритсодержащей руды месторождения Алашпай.

Минералогический анализ исходной руды (рисунок 1) показал присутствие бария в виде барита, кремния в виде кварца, железа в виде гематита и гидроокислов. По результатам полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз в руде содержится 37 % барита $BaSO_4$, 59 % кварца SiO_2, 6 % каолинита $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$. По результатам химического анализа в руде содержится 31,62 % $BaSO_4$, 18,61 % Ba, 1,11 % Pb, 8,09 % Fe_2O_3, 4,34 % $S_{общ}$. Гранулометрический анализ дробленой руды показал, что основное количество свинца (83,29 %) и барита (67,91 %) находится в классе крупнее 0,2 мм.

Рисунок 5 – Минералогический состав руды месторождения Алашпай
1 – барит; 2 – кварц; 3 – гематит; 4 – гидроокислы железа;
5 – иммерсионная среда

Гравитационное обогащение свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай не дало удовлетворительных высоких показателей разделения свинца от барита, что обусловлено незначительным содержанием свинца и крупностью полезных минералов. Поэтому нами рассмотрена возможность флотационного обогащения баритсодержащей руды.

Баритовые руды относятся к числу сравнительно хорошо флотируемых минералов [1]. В то же время при селективной флотации барита если пустая порода представлена кальцитом, доломитом, кварцем, известняком,

ти, из-за близости их флотационных свойств с баритом баритовая руда является сложным объектом для флотационного обогащения [4]. Из литературных источников известно, что на обогатительных фабриках России и Казахстана, перерабатывающих баритсодержащие руды, при флотации барита применяется реагент «Баритол», представляющий собой смесь алкилсульфатов. Для снижения расхода этого дорогостоящего реагента на ряде обогатительных фабрик предлагают применять добавки более дешевых октилдрильных собирателей. Проводились исследования по применению в качестве неионогенной добавки – глицерина, как самого доступного, биоразлагаемого и нетоксичного продукта [4], по применению реагента на основе соапстока — отстоя, образующегося в результате щелочного рафинирования растительных масел и жиров в жироперерабатывающей промышленности [6].

Целью работы является определение оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды, включающего свинцовый и баритовый циклы с использованием в качестве депрессора пустой породы жидкого стекла. Свинцовый цикл включает основную, контрольную свинцовую флотацию и две перечистки свинцового концентрата. В свинцовом цикле в качестве сульфидизатора используют сульфид натрия (подаваемого в процессе измельчения, в основную и контрольную свинцовую флотации), собирателя - бутиловый ксантогенат натрия, в качестве пенообразователя - Т-80. Баритовый цикл состоит из основной, контрольной флотации и трех перечисток баритового концентрата. В данном цикле в качестве собирателя использовали олеиновую кислоту и баритол.

Флотационные опыты проводились на лабораторных флотационных машинах ФМЛ–1 и ФМЛ–2, навеска руды для опыта составляла 1000 г. Установлены оптимальная крупность руды 98,5 % класса -74 мкм и оптимальное время флотаций и перечистных операций:

- основная баритовая флотация 22 минуты, контрольная - 7 минут;
- перечистки баритового цикла проводили в течение 17, 10 и 5 минут.

Результаты лабораторных исследований показали, что процесс флотационного обогащения руды наиболее эффективно реализуется в при pH 9,5.

Исследования по определению оптимальных параметров флотационного обогащения баритсодержащей руды месторождения Алашпай с применением в качестве собирателя олеиновой кислоты и баритола показали, что с применением олеиновой кислоты получился баритовый концентрат, содержащий 61,3 % барита при извлечении 69,65 %; с применением баритола - баритовый концентрат, содержащий 66,31 % барита при извлечении 80,3 % (рисунок 2).

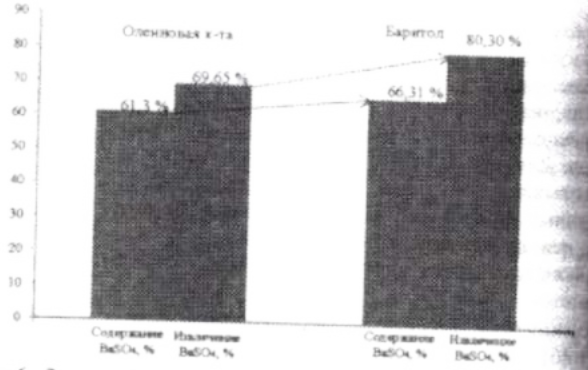


Рисунок 6 – Зависимость содержания и извлечения барита от вида собрат[illegible]

Таким образом, установлены оптимальные параметры флотацион[illegible]го обогащения баритсодержащей руды - крупность помола, pH не ниже [illegible], плотность флотации 30 - 35 %; расход реагентов, время флотации. В сро[illegible]нении с олеиновой кислотой, использование баритола в качестве собира[illegible]ля позволяет повысить извлечение барита на 10,65 %, увеличить массову[illegible] долю барита в концентрате на 5 % при снижении его расхода на 15-20 %.

Список литературы

1. Студенцов В.В., Ниязов А.А., Абевова Т.А. Тенденция развития перераб[illegible] баритсодержащих руд в отечественной и зарубежной практике (Аналитический обзор) Алматы, 1999.- 120 с. http://www.nauka.kz/page.php?page_id=372&lang=3&page=208[illegible]

2. Логинов Г.М., Рябой В.И. Технологические вопросы применения собират[illegible] различного строения при флотации барита //Обогащение руд. -1987. - № 2. - С.11-14.

3. Semushkina L., Kenzhaliyev B., Turisbekov D., Tussupbayev N., Narbekova [illegible] About a possibility of processing of technogenic waste with use of the new equipment [illegible] flotoreagent // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology&mining Ecology Management, 2017, T 17, P. 3-9. https://doi.org/10.5593/sgem2017h/43/s18.001

4. Ниязов А.А., Ефремова Э.А., Трофимов В.И., Абилдиев Б.А., Омаров А.М. и др. Использование соды при флотации барита //Цветные металлы. -1989. - № 7. - С.1[illegible] - 125.

5. Селиванова Н.В., Тропман Э.П. и др. Применение новых флотореагентов при обогащении полиметаллических баритсодержащих руд //Цветные металлы.- 1990.- № 12.- С.50-53.

6. Тусупбаев Н.К., Тропман Э.П., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Мухамедилова А.М., Абдикулова А.О. Применение модифицированных реагентов при флотационном обогащении свинцово-баритовых руд //Комплексное использование минерального сырья.- 2013.- № 4. www.kims-imio.kz

УДК 622.765.06

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Тусупбаев Н.К., Муханова А.А., Семушкина Л.В., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М.

[illegible]yev University, АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан

Работа предприятий горноперерабатывающей отрасли в условиях [illegible]ных отношений вызывает необходимость повышения конкурентоспособности продукции. Ограниченность финансовых и технических возможностей обогатительных фабрик приводит к необходимости более детального выявления путей интенсификации действующих технологических процессов, максимального использования свойств минералов, входящих в состав руды, их природных различий. При флотационном обогащении бедных вольфрамсодержащих руд совершенствование реагентных режимов является наиболее перспективным, гибким, не требующим значительных затрат способом интенсификации технологического процесса [1-5].

Крупнейшие зарубежные месторождения вольфрамита и шеелита находятся в Китае, Бирме, США, Боливии и Португалии, на Урале, Кавказе, в Забайкалье.

Казахстан также обладает большими запасами вольфрамсодержащих руд. В центральном Казахстане выявлены и разведаны крупные и уникальные месторождения Верхнее Кайракты, Коктенколь, Акшатау, Батыстау, Караоба, Северный Катпар [6]. В Северном Казахстане находится крупное месторождение Баян. В Южном Казахстане расположено вольфрамовое месторождение Богуты. В Восточном Казахстане известны месторождения Чердояк, Усть-Каменогорское. Основные запасы вольфрама (87 %) сосредоточены в штокверковых вольфрамовых и молибден-вольфрамовых месторождениях (Верхнее Кайракты, Богуты, Караоба, Коктенколь), которые характеризуются крупными запасами вольфрамовых руд и низкими содержаниями вольфрама . В Казахстане выделяются следующие геолого-промышленные и генетические типы месторождений вольфрама:

- скарновые месторождения (Усть-Каменогорское);
- скарново-грейзеновые месторождения (Баян, Северный Катпар, Коктенколь Промежуточный);
- грейзеновые месторождения (Акшатау, Караоба, Коктенколь, Чердояк);
- плутоногенные гидротермальные месторождения (Богуты, Верхнее Кайракты);
- вольфрамоносные коры выветривания (Коктенколь Промежуточный, Северный Катпар) [6].

Государственным балансом запасов вольфрама в Республике Казахстан по состоянию на 2001 г. учтены 16 месторождений, в том числе 10 с

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ
Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юдина С.В. 259

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ
Крылова Л.Н., Селиверстов А.Ф. 261

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ БЛАГОРОДНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ГРАВИТАЦИОННЫМ И МАГНИТНЫМ МЕТОДАМИ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ СЕРГЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ, РФ)
Сорокин А.П., Агеев О.А. 268

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ ЕРКОВЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ, РФ)
Сорокин А.П., Агеев О.А. 273

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ БИОРАСТВОРОМ
Фомченко Н.В., Муравьев М.И., Уварова Т.К., Меламуд В.С. 278

ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАРНАЛЛИТА ИЗ ОТХОДОВ ТИТАНОМАГНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА
Ультаракова А.А., Есенгалиев А.М., Оналев М.И., Касымжанов К.К., Улдаханов О.Х. 282

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗИСТОЙ ФРАКЦИИ БОКСИТОВ
Позмогов В.А., Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Имангалиева Л.М., Касымжанова А.К. 287

ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЗЭ ИЗ КРАСНОГО ШЛАМА
Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Ахмадиева Н.К. Имангалиева Л.М. 290

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ БАРИТСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ
Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Сатыханова А., Садык Б. 293

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ
Тусупбаев Н.К., Муханова А.А., Семушкина Л.В., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М. 297

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОСЕРНИСТЫХ МЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ
Агапитов Я.Е., Захарьин С.В., Каримова Л.М., Хажимухаметов Т.А. 300

ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ЧЕРНОВОГО МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА
Хажимухаметов Т.А., Каримова Л.М., Захарьин С.В., Агапитов Я.Е. 305

ПУЛЬПА БАЛХАШСКОГО СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЦЕННОЕ ТЕХНОГЕННОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ И СЕЛЕНА
Загородняя А.Н., Шарипова А.С., Линник К.А. 309

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ СЛАБОМАГНИТНЫХ ПОРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ
Пеленин А.Е. 314

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С ПОМОЩЬЮ СЕПАРАЦИИ В ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ
Пеленин А.Е. 317

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ УПОРНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ХИМИКО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА
Самусев А.Л., Миненко В.Г. 319

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ АКШАТАУСКОГО ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
Прокопьев С.А., Иванова К.К., Манучарянц А.Б., Петкевич-Сочнов Д.Г., Пономарёва А.М., Шульгина М.Е., Прокопьев Е.С., Чиксишева Т.А. 323

ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВЫХ АППАРАТОВ В ЦИКЛЕ ГРАВИТАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ОЛОВОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПРАВОУРМИЙСКОЕ»
Прокопьев С.А., Шульгина М.Е., Калинкин И.А., Колесов Е.А., Килин В.И. 328

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУПНОСТИ ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ
Яковлева Т.А. 333

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА ПРОЦЕСС ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ
Ширман Г.В. 339

ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ГЕОМАТЕРИАЛОВ В ДВУХВИТКОВОМ ВИНТОВОМ ПНЕВМОСЕПАРАТОРЕ
Лебедев И.Ф., Гаврильев Д.М. 342

ПОЛУЧЕНИЕ ФТОРИДНЫХ И СУЛЬФАТНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА
Шевелев И.И., Голонных Н.В., Чудненко К.В. 346

МАТЕРИАЛЫ
XXV Международной научно-технической конференции

«Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья»
07-10 апреля 2020 г.

Екатеринбург – 2020

УДК 622.765

ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ БАРИТСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ

Тусупбаев Н. К., Турысбеков Д. К., Нарбекова С. М., Калдыбаева Ж. А., Мухамедилова А. М., Мусина М. М., Садык Б.
Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

Выбор способа обогащения зависит от минерального состава, структуры руды, от размеров вкраплений, требований потребителя. При обогащении барита используется, в основном, его высокий удельный вес, значительная флотационная активность и химическая инертность барита. Некоторую роль играет способность кристаллов барита растрескиваться при нагревании и крайне низкая магнитная его проницаемость. В настоящее время применяют радиометрические методы обогащения, промывку, гравитационные, флотационные методы обогащения, термическое, химическое, магнитное и электрическое обогащение [1-4].

Проблема поиска эффективных реагентов – собирателей, способных достойно заменить традиционные дорогостоящие реагенты – олеиновую кислоту, баритол, аспарал и т.д., существует на протяжении нескольких десятилетий и до сих пор полностью не решена. Была предпринята попытка решения существующей проблемы для флюорит- и баритсодержащих руд. В качестве объекта внимание было обращено на отходы лесохимического (БТ-1С) и масложирового (Даллес) производств, по стоимости значительно уступающих олеиновой кислоте [5]. Флотации подвергались руды Забайкальского региона – месторождения Усугли, Жетковское, Гарсонуйское, Этыкинское, Монголии – Бор-Ун-Дур и баритсодержащие руды, перерабатываемые Салаирским ГОКом. Использование реагентов с наличием в их составе предельных и непредельных кислот в определенном их соотношении позволяет повысить качество и извлечение флюоритового и баритового концентратов при равном их расходе в сравнении с традиционными и незначительной стоимости последних [6].

Основными собирателями для промышленной флотации несульфидных руд являются жирные кислоты и их мыла (олеиновая кислота, олеат натрия, жирнокислотная фракция таллового масла, талловое масло и др.), алкилсульфаты и собирательные смеси на их основе [7-11]. Требования, предъявляемые к собирателям – высокая эффективность и селективность.

Для улучшения этих свойств к жирным кислотам добавляются различные химические реагенты и добавки. И ряд изобретений направлен на улучшение их селективности. Так получен флотационный собиратель для несульфидных руд на основе омыленной жирной кислоты. Перед омылением жирной кислоты ее нагревают до 70-75 °С, и при перемешивании вводят в качестве регулятора полимеризации фенольный антиоксидант – Агидол-1 в количестве 0,5-5 мас. %. После процесса омыления в полученный собиратель может быть добавлен алкилсульфат натрия в количестве 4-5 мас. %

[12]. Флотационый собиратель обладает высокоэффективной и высокоселективной флотацией несульфидных руд, преимущественно баритсодержащих. В качестве жирной кислоты используют жирнокислотную фракцию таллового масла или олеиновую кислоту.

Создание эффективной технологии обогащения баритсодержащей руды, которая будет способствовать повышению извлечения полезных компонентов и улучшению качества получаемых концентратов, является актуальной задачей. В работе представлены результаты исследований по флотационному обогащению баритсодержащей руды месторождения Алашпай.

По результатам химического анализа в руде содержится 30,71 % $BaSO_4$, 18,52 % Ba, 1,33 % свинца, 7,89 % Fe_2O_3, 3,81 % $S_{общ}$.

Проведен атомно-эмиссионный качественный спектральный анализ, который показал, что в исследуемой руде присутствуют значительные количества кремния Si, алюминия Al, бария Ba и обнаружены следующие примеси: Pb – 1,0 %; Na – 0,015 %; Ca – 0,06 %; Mg – 0,03 %; Ti – 0,1 %; Zn – 0,007 %; Cu – 0,04 %; Cr – 0,15 %; Ag – 0,0003 %; Zr – 0,001 %; Be – 0,0003 %.

Минералогический анализ исходной руды показал присутствие бария в виде барита, кремния в виде кварца, железа в виде гематита и гидроокислов. Гранулометрический анализ дробленой руды показал, что основное количество свинца (83,29 %) и барита (67,91 %) находится в классе крупнее 0,2 мм.

Руду измельчали в лабораторной шаровой мельнице до 95,0 % кл. – 0,074 мм. Флотационные опыты проводились на лабораторных флотационных машинах ФМЛ–1 и ФМЛ–2. Измельченную руду направляли на свинцовую флотацию, а затем на флотационное извлечение баритового концентрата по схеме, включающей основную, контрольную флотации и две перечистки баритового концентрата.

Основную баритовую флотацию проводили в течение 16 минут, контрольную – в течение 6 минут и использовали следующие реагенты в качестве:

– депрессора пустой породы – жидкое стекло;

– собирателя и вспенивателя – олеиновую кислоту или баритол.

В баритовом цикле проведены 2 перечистки в течение 12 и 11 минут. В первой и второй перечистках добавляли жидкое стекло.

Исследования по баритовой флотации проводились при различном расходе олеиновой кислоты, баритола, с использованием ультразвуковой обработки при частоте 22 кГц. Оптимальный pH среды во флотации поддерживался в пределах 9-10.

Установлен оптимальный расход олеиновой кислоты после ультразвуковой обработки – 1000 г/т, а оптимальный расход баритола – 900 г/т.

Модифицированный реагент получен на основе соапстока. **Соапсток** образуется в результате щелочного рафинирования растительных масел и жиров в жироперерабатывающей промышленности [13-14]. Соапсток представляет собой окрашенную малоподвижную коллоидную систему сложного качественного и количественного состава. Для исследования взяты высшие жирные кислоты C_{10}–C_{18}, выделенные из смеси соапстоков подсолнечного масла. Жирные кислоты по внешнему виду представляют собой подвижную густую массу темно-коричневого цвета, хорошо растворимую в водных щелочных растворах [15-16]. Жирные кислоты подвергались ультразвуковой обработке на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-М1200Т в течение 5 минут при частоте 22 кГц. После модификации жирные кислоты меняли свой внешний вид, приобретая вязкую консистенцию и меняя цвет от желтого до молочного.

Проведены исследования по установлению оптимального расхода модифицированного реагента для флотации хвостов гравитации руды месторождения Алашпай. Расход его составлял от 600 до 1000 г/т. Оптимальный расход модифицированного собирателя установлен 800 г/т. Сравнительные результаты флотационного обогащения хвостов гравитации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные результаты флотационного обогащения хвостов гравитации свинцово-баритовой руды месторождения Алашпай с получением баритового концентрата с применением различных собирателей

Название продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	$BaSO_4$	Pb	$BaSO_4$	
$BaSO_4$ конц-т	47,6	1,7	67,1	44,76	81,10	Олеин. кислота – 1000 г/т с УЗДН
Пр. пр. 1	5,9	1,8	21,4	5,87	3,21	
Пр. пр. 2	4,4	2,3	37,8	5,6	4,22	
Конц. контр. фл.	4,3	1,7	26,8	4,04	2,93	
Хвосты флот.	37,8	1,9	8,9	39,73	8,54	
Камер. пр. Pb фл.	100	1,81	39,38	100	100	
$BaSO_4$ конц-т	48,0	1,7	66,31	45,97	80,30	Баритол – 900 г/т
Пр. пр. 1	5,3	1,9	26,3	5,67	3,52	
Пр. пр. 2	4,2	2,4	46,2	5,68	4,90	
Конц. контр. фл.	3,8	1,6	30,1	3,43	2,89	
Хвосты флот.	38,7	1,8	8,6	39,25	8,40	
Камер. пр. Pb фл.	100	1,77	39,64	100	100	
$BaSO_4$ конц-т	47,9	1,8	68,9	46,65	82,69	Модиф. собиратель – 800 г/т
Пр. пр. 1	6,1	1,9	19,6	6,27	3,00	
Пр. пр. 2	5,1	2,1	35,2	5,79	4,50	
Конц. контр. фл.	5,4	2,3	22,6	6,72	3,06	
Хвосты флот.	35,5	1,8	7,6	34,57	6,76	
Камер. пр. Pb фл.	100	1,84	39,91	100	100	

Таким образом, содержание барита в баритовом концентрате, по сравнению с применением олеиновой кислоты, обработанной ультразвуком, увеличивается примерно на 2 % (с 67,1 до 68,9 %), извлечение повышается на 1,6 % (с 81,1 до 82,69 %). Расход модифицированного собирателя по сравнению с олеиновой кислотой уменьшается на 20 %.

Список литературы

1. Студенцов В. В., Ниязов А. А., Абевова Т. А. Тенденция развития переработки баритсодержащих руд в отечественной и зарубежной практике (Аналитический обзор). – Алматы, 1999. – 120 с. http://www.nauka.kz/page.php?page_id=372&lang=3&page=2085

2. Semushkina L., Kenzhaliyev B., Turisbekov D., Tussupbayev N., Narbekova S. About a possibility of processing of technogenic waste with use of the new equipment and flotoreagent // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, 2017, T 17, P. 3-9. https://doi.org/10.5593/sgem2017h/43/s18.001

3. Богданович А. В., Шумская Е. Н., Леман Е. П., Козлов Г. Г. Технология обогащения баритовой руды Хойлинского месторождения физическими методами //Обогащение руд. – 1997. – № 6. – С. 10-14.

4. Глазунов Л. А., Глазунов А. Л. Аспекты повышения эффективности флотации полиметаллических руд // Цветные металлы. – 2008. – № 9. – С. 13-16.

5. Высотин В. В. Разработка технологии флотации барита из золото-баритовой руды с использованием комплексного собирателя: дис.канд.техн.наук: 25.00.13.– Ирк.гос.техн.унив.– Иркутск, 2008. – 123 с.

6. Фатьянов А. В., Никитина Л. Г., Щеглова С. А. Переработка карбонатно-флюоритовых руд месторождений Монголии и Забайкалья // Вестник ЗабГУ. – 2017. – Е.23. № 4. – С. 33-37.

7. Логинов Г. М., Рябой В. И. Технологические вопросы применения собирателей различного строения при флотации барита //Обогащение руд. – 1987. – № 2. – С.11-14.

8. Ниязов А. А., Ефремова Э. А., Трофимов В. И., Абилдиев Б. А., Омаров А. М. и др. Использование соды при флотации барита //Цветные металлы. –1989. – № 7. – С. 124-125.

9. Селиванова Н. В., Тропман Э. П. и др. Применение новых флотореагентов при обогащении полиметаллических баритсодержащих руд //Цветные металлы. – 1990. – № 12. – С. 50-53.

10. Логинов Г. М., Рябой В. И. Технологические вопросы применения собирателей различного строения при флотации барита // Обогащение руд. – 1987. – № 2. – С. 11-14.

11. Высотин В. В., Руденко М. Б. Определение оптимальных условий флотации баритсодержащих руд с использованием комплексного собирателя // Вестник ИрГТУ. – № 4 (32). – 2007. – С. 85 -88.

12. Патент RU №2255813 Флотационный собиратель для несульфидных руд и способ его получения / Гунин С.В., заявл. 30.09.2003; опубл. 10.07.2005.

13. Тропман Э. П., Деут А. О., Грицай С. Г., Селиванова Н. В. Модифицирование жировых отходов и полупродуктов для повышения эффективности флотации несульфидных руд // 5 Международная научно-техническая конференция ВТУ. Экология речных бассейнов, г. Владимир. – 2009. – С. 180-182.

14. Селиванова Н. В., Сафин Х. Ш., Тропман Э. П., Камдин Н. А. О сорбции некоторых жирнокислотных собирателей на несульфидных рудах // Цветные металлы. – 1989. – № 5. – С. 40-43.

15. Тютюнников Б. Н. Химия жиров. – М.:Химия, 1992. – 540 с.

16. Брайен Р.О. Жиры и масла. – Санкт-Петербург: Профессия, 2007. – С. 232-237.

СОДЕРЖАНИЕ

РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОПРОБОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
Козин В. З. 3

АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕИОНОГЕННОГО СОБИРАТЕЛЯ ПРИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД
Морозов В. В., Пестряк И. В., Эрдэнэзуул Жаргалсайхан 6

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ В ЗАМКНУТЫХ ЦИКЛАХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
Пелевин А. Е. 10

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ
Газалеева Г.И., Бузунова Т. А., Шигаева В. Н., Назаренко Л. Н. 15

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ РЕНТГЕНОРАДИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФЛОТАЦИИ ЗАБАЛАНСОВОЙ РУДЫ ОЗЁРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
Цыпин Е. Ф., Зиятдинов С. В., Ефремова Т. А., Попова Е. В., Кургузова А. С. 20

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПРОЦЕССЕ ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ
Двойченкова Г. П., Морозов В. В., Тимофеев А. С., Подкаменный Ю. А. 24

МОДЕЛИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ
Ефремова Т. А., Цыпин Е. Ф., Овчинникова Т. Ю., Елизаров Д. Б. 29

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПАУНДНЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕННОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ
Лезова С. П., Морозов В. В. 33

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ КОВДОРСКОГО ГОКА
Бармин И. С., Морозов В. В. 37

О РОЛИ ЖЕЛЕЗА В МЕХАНИЗМЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ СУЛЬФИДНЫХ РУД, ОБРАЗУЮЩИХ С МИНЕРАЛАМИ КОНТАКТНЫЕ ГАЛЬВАНОПАРЫ ТИПА ПИРИТ-МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗО
Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Абрютин Д. В., Каюмов А. А., Корж В. Р. 42

ИЗУЧЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ СОБИРАТЕЛЕЙ С РАЗНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ МЕТОДОМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
Корж В. Р., Аксенова Д. Д., Игнаткина В. А. 45

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕЛЬМАЧИК
Василюк П. А., Размахнин К. К. 100

КОМПЛЕКСНЫЙ РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА
Шепелев И. И., Головных Н. В. 104

ПЕРЕРАБОТКА ХВОСТОВ ЗОЛОТОДОБЫЧИ МЕТОДАМИ ИОНОСОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
Головных Н. В., Чудненко К. В., Шепелев И. И. 110

ВИНТОВАЯ СЕПАРАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ РУД
Турецкая Н. Ю., Прокопьев С. А., Прокопьев Е. С., Емельянова К. К., Кадесников И. В., Копылов С. А. 115

ВЫБОР ИОНИТА ДЛЯ СОРБЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОСТАТКА ОТ ХЛОРИРОВАНИЯ ЦИРКОНОВОГО ПРОМПРОДУКТА
Найманбаев М. А., Дмитриев А. Н., Лохова Н. Г., Балтабекова Ж. А. 119

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ
Мамбеталиева А. Р., Акказина Н. Т., Нурманова А. Н., Бакраева А. Н., Ералиев А. А. 124

ФЛОТАЦИЯ ЛЕГКОЙ ФРАКЦИИ ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ В ТЯЖЕЛЫХ СУСПЕНЗИЯХ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАЛКИЯ
Телков Ш. А., Мотовилов И. Ю., Барменшинова М. Б. 128

ПОЛУЧЕНИЕ КАЛЬЦИЕВОЙ СЕЛИТРЫ ИЗ РАСТВОРОВ ОТ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ТИТАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА
Ультаракова А. А., Есенгазиев А. М., Касымжанов К. К., Улдаханов О. Х. 132

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ШЛАМОВЫХ ВОД МЕТОДОМ УЛЬТРАФЛОКУЛЯЦИИ
Билялова С. М., Есенгазиев А. М., Мукатаева Н. Н. 137

ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ БАРИТСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ
Тусупбаев Н. К., Турысбеков Д. К., Нарбекова С. М., Калдыбаева Ж. А., Мухамедилова А. М., Мусина М. М., Садык Б. 142

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ НА ПРОЦЕСС РАЗДЕЛЕНИЯ МЕДНО-СВИНЦОВОГО КОНЦЕНТРАТА
Турысбеков Д. К., Муханова А. А., Нарбекова С. М., Калдыбаева Ж. А., Мусина М. М., Мухамедилова А. М., Асан Е. А. 146

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И МИКРОСТРУКТУРЫ ХВОСТОВЫХ ОТХОДОВ НГМК
Шарипов Х. Т., Туресебеков А. Х., Авазбекова А. А., Жураев Х. Б. 149