

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

Юсупова Сания Жабборовна

«Усовершенствование технологии флотации упорных сульфидных руд с применением
меркаптан содержащего собирателя»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ОП 7М07226 – «Обогащение полезных ископаемых»

Алматы 2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт им А.О. Байконурова

УДК 622.75/77.765

На правах рукописи

Юсупова Сания Жабборовна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

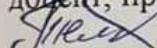
Название диссертации

«Усовершенствование
технологии флотации упорных
сульфидных руд с
применением меркаптан
содержащего собирателя»
ОП 7М07226 – «Обогащение
полезных ископаемых»

Направление подготовки

Научный руководитель

Кандидат технических наук,
доцент, профессор кафедры МиОПИ

 Телков Ш.А.

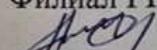
« 09 » 01 2026 г.

Рецензент

Старший научный сотрудник,

Доктор PhD,

Филиал РГП «НЦ КПМС РК»,

 Алтынбек Ш.Ч.

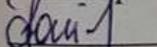
« 15 » 01 2026 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИИТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

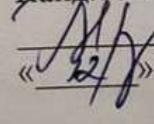
Норм контроль

Ведущий инженер кафедры МиОПИ,

Магистр техн. наук

 Таймасова А.Н.

« 12 » 01 2026 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой МиОПИ,
Канд. техн. наук, ассоц профессор
 Барменшинова М.Б.
« 22 » 01 2026 г.

Алматы 2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

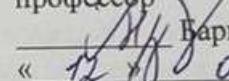
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт им А.О.Байконурова

7М07226 – «Обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ,
Канд.техн наук, ассоц
профессор

 Барменшинова М.Б.
«12 01 2026 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Юсуповой Сание Жабборовне

Тема: «Усовершенствование технологии флотации упорных сульфидных руд с применением меркаптан содержащего собирателя»

Утверждена приказом Ректора Университета № 133-П/Ө от 28.03.2024 г.

Срок сдачи законченного проекта: «12» января 2026 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Упорная сульфидная полиметаллическая руда месторождения «Риддер-Сокольное»

Перечень подлежащих разработке к магистерской диссертации вопросов:

- а) Изучить вещественный состав: выполнить гранулометрический, минералогический и химический анализ исходной руды Риддер-Сокольного месторождения;
- б) Исследовать характеристики упорности: провести микрозондные исследования для определения форм нахождения золота;
- в) Синтезировать новые реагенты: изучить возможность получения меркаптансодержащих собирателей из отходов отечественной нефтепереработки;
- г) Отработать базовый режим: выполнить лабораторные эксперименты по определению оптимальной крупности измельчения и расхода стандартных собирателей (ксантогената);
- д) Провести сравнительные испытания: выполнить серию опытов флотации с применением разработанных меркаптансодержащих собирателей и доказать их эффективность в повышении извлечения.

Перечень графического материала: демонстративный материал с результатами исследований не менее чем на слайдах.

Рекомендуемая основная литература:

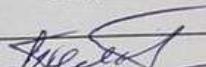
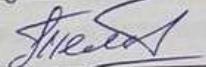
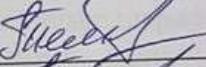
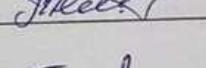
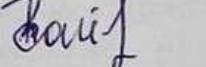
1. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. Учеб.пособ, М., 2008. -707 с..
2. Глембоцкий В.А. Проблемы использования аполярных коллекторов при флотации // Цветные металлы. – 1983. - № 8. – С.96-98.
3. Васев В.И., Федяев Ф.Ф., Рубан Г.А. Уточнение механизма действия аполярных собирателей. // Изв.вузов. Цветная металлургия. 1989. - № 1. - С.17-20.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

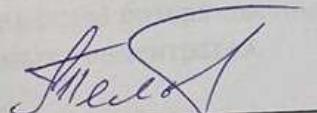
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	11.10.2025	бюл.
Аналитический обзор литературы	10.11.2025	бюл.
Методика исследований	12.12.2025	бюл.
Экспериментальная часть	06.01.2026	бюл.
Заключение	09.01.2026	бюл.

Подписи

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

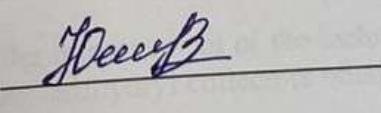
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Введение	Телков Ш.А. Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры МиОПИ	11.10.2025	
Аналитический обзор литературы		10.11.2025	
Методика исследований		12.12.2025	
Экспериментальная часть		06.01.2026	
Заключение		09.01.2026	
Нормоконтролер	Таймасова А.Н. Ведущий инженер кафедры МиОПИ, магистр техн. наук	12.01.2026	

Научный руководитель



Телков Ш.А.

Задание приняла к исполнению



Юсупова С.Ж.

Дата

«12» 01 2025 г.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертацияда отандық мұнай өнімдерінен алынған құрамында меркаптан бар сульфидрил жинағыштарды қолдана отырып, қыңыр сульфидті кендерді флотациялау технологиясын жетілдіру қарастырылады.

Зерттеу міндеттеріне мыналар кіреді: отандық мұнай өнімдерін қайта өндөу қалдықтарынан құрамында меркаптан бар сульфидрилді жинауышыларды алу; құрамында меркаптан бар сульфидрилді жинауышыларды қолдана отырып, қыңыр сульфидті кендерді флотациялау технологиясын жетілдіру, тәжірибелік сынақтар және қыңыр сульфидті кендерді флотациялық байытудың технологиялық регламентін жасау үшін бастапқы деректерді беру.

Зерттеу барысында аналитикалық әдістер кешені (рентген-флуоресцентті, рентген-фазалық, минералогиялық, микрозондтық және ИК-спектроскопиялық талдаулар), сондай-ақ зертханалық флотациялық тәжірибелер жүргізілді. Құрамында меркаптан бар жинағыштарды пайдалану металдарды алу дәрежесін арттыруды қамтамасыз ететіні, құйрықтары бар түсті және асыл металдардың жоғалуын азайтуға ықпал ететіні және алынған концентраттардың сапасын жақсартатыны анықталды.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской диссертации рассматривается усовершенствование технологии флотации упорных сульфидных руд с применением меркаптансодержащих сульфидрильных собирателей, полученных из отечественных нефтепродуктов.

В задачи исследований входят: получение меркаптансодержащих сульфидрильных собирателей из отходов переработки отечественных нефтепродуктов; усовершенствование технологии флотации упорных сульфидных руд с применением меркаптансодержащих сульфидрильных собирателей, опытные испытания и выдача исходных данных для составления технологического регламента флотационного обогащения упорных сульфидных руд.

В ходе исследований проведён комплекс аналитических методов (рентгено-флуоресцентный, рентгенофазовый, минералогический, микрозондовый и ИК-спектроскопический анализы), а также лабораторные флотационные опыты. Установлено, что использование меркаптансодержащих собирателей обеспечивает повышение степени извлечения металлов, способствует снижению потерь цветных и благородных металлов с хвостами и улучшает качество получаемых концентратов.

ABSTRACT

This master's thesis examines the improvement of the technology of flotation of resistant sulfide ores using mercaptan-containing sulfhydryl collectors obtained from domestic petroleum products.

The research objectives include: obtaining mercaptan-containing sulfhydryl collectors from waste from the processing of domestic petroleum products; improving the technology of flotation of resistant sulfide ores using mercaptan-containing sulfhydryl collectors, pilot testing and providing initial data for the preparation of technological regulations for flotation enrichment of resistant sulfide ores.

In the course of the research, a complex of analytical methods (X-ray fluorescence, X-ray phase, mineralogical, microprobe and IR spectroscopic analyses), as well as laboratory flotation experiments were carried out. It has been established that the use of mercaptan-containing collectors provides an increase in the degree of metal extraction, helps reduce losses of non-ferrous and precious metals with tailings, and improves the quality of the concentrates obtained.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Литературный обзор	9
1.1 Краткая характеристика упорных сульфидных руд	9
1.2 Совершенствование флотационных процессов и флотореагентов	10
1.3 Собиратели флотации: классификация, структура и механизм действия	12
1.4 Применение нефтяных реагентов в процессах флотации	14
1.5 Характеристика Риддер-Сокольного месторождения	15
2 Экспериментальная часть	17
2.1 Объект исследования	17
2.2 Рентгено-флуоресцентный анализ	17
2.3 Рентгенофазовый анализ	18
2.4 Изучение вещественного состава пробы	19
2.5 Микрозондовый анализ	21
2.6 Гранулометрический анализ исходной пробы	23
2.7 Отработка оптимальных параметров флотационного обогащения упорных сульфидных руд с применением традиционных собирателей	25
2.8 Лабораторные исследования по флотации упорной сульфидной руды Риддер-Сокольного месторождения	28
2.9 Отработка оптимальных технологических параметров флотационного обогащения упорной сульфидной руды с применением меркаптансодержащих собирателей	33
2.10 Усовершенствование технологии флотационного обогащения упорной сульфидной руды с применением сульфидрильных меркаптансодержащих собирателей	39
Заключение	44
Список литературы	46
Приложение А	47

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В обогатительной практике обеспечить высокое извлечение зернистой и тонкодисперсной фракций флотируемого материала одним типом собирателя, как правило, не удается. Чаще всего это достигается использованием двух видов собирателей: каждый собиратель применяется отдельно в последовательных стадиях процесса, либо оба собирателя используются одновременно в оптимальных сочетаниях, обеспечивая синергетический эффект [1]. Оценка современного состояния ассортимента флотационных реагентов и выполняемых в этом направлении исследований показала востребованность новых видов отечественных селективных реагентов направленного действия и совершенствования на их основе реагентных режимов, способных обеспечить получение дополнительного объема цветных и благородных металлов и сократить их потери с хвостами обогащения.

Применяемые дополнительные реагенты, чаще всего, не отличаются значимым собирательным эффектом, но в разы усиливают действие базового реагента-собирателя, что в свою очередь позволяет существенно снизить расход последнего при сохранении, но и очень часто при улучшении, основных показателей процесса в целом. [2,3]

Наиболее известными являются реагенты-собиратели, которые представляют собой органические соединения, применяемые при флотации для гидрофобизации минералов, достигаемой в результате закрепления молекул или ионов собирателя на их поверхности. Назначение гидрофобизации - снизить до минимума смачиваемость минералов водой, т.е. сделать их гидрофобными. Для большинства собирателей характерна сложная асимметрическая структура молекулы, состоящая из двух частей, отличных по своим химическим и физико-химическим свойствам, – аполярной и полярной.

Цель данной магистерской диссертации заключается в усовершенствовании технологии флотации упорных сульфидных руд с применением меркаптансодержащих собирателей, полученных из отечественных нефтепродуктов.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Исследование минералого-технологических особенностей упорной сульфидной руды Риддер-Сокольного месторождения.
2. Анализ эффективности традиционных реагентов и определение их оптимальных параметров применения.
3. Получение и подготовка меркаптансодержащих сульфидрильных собирателей на основе отходов нефтепереработки.
4. Проведение серии лабораторных флотационных исследований с использованием различных соотношений меркаптансодержащих реагентов.
5. Сравнение технологических показателей флотации.
6. Определение оптимального реагентного режима и разработка

рекомендаций по применению меркаптансодержащих собирателей при флотации упорных руд.

Научная новизна работы. Заключается в проведении комплексных лабораторных исследований, направленных на повышение эффективности флотационного обогащения упорных сульфидных руд с использованием инновационного меркаптансодержащего наноэмульсионного собирателя, полученного методом ультразвуковой кавитации.

Полученные результаты демонстрируют значительное повышение эффективности извлечения меди, свинца, цинка и золота при одновременном снижении расхода собирателей. Таким образом, применение меркаптансодержащих реагентов может стать перспективным направлением в совершенствовании технологий флотации упорных полиметаллических руд.

1 Литературный обзор

1.1 Краткая характеристика упорных сульфидных руд

Упорные руды – это руды, которые не поддаются эффективному извлечению ценных компонентов традиционными методами из-за особенностей их минерального и химического состава, структуры и степени вкрапления.

Упорные сульфидные руды представляют собой сложные по структурному и минералогическому строению руды, характеризующиеся тонкодисперсным распределением ценных минералов и высокой степенью их ассоциации с пустой породой. Для таких руд типичны сульфиды железа (пирит), арсено-сульфиды (арсенопирит), халькопирит, сфалерит, галенит, а также второстепенные минералы (пирротин, марказит). Большая часть ценных металлов находится в форме тонких включений (менее 20 мкм), что существенно снижает раскрываемость минералов при обычных режимах измельчения. Тонкость вкрапления, микровключения и наличие упорных фаз («невидимого» золота в решётке пирита и арсенопирита) делают такие руды труднообогатимыми и плохо реагирующими на традиционные методы флотации. Исследования показывают, что потери ценных компонентов могут достигать 20–50 % при использовании стандартных реагентных режимов, что выводит такие руды в категорию упорных.

К наиболее типичным минералам, определяющим упорность сульфидных руд, относятся пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, марказит и ряд вторичных сульфидов. Важной особенностью этих руд является то, что значительная часть благородных металлов, меди или цинка находится не в виде самостоятельных включений, а в составе твёрдых растворов или в микровключениях внутри сульфидной матрицы. В частности, установлено, что до 40–60 % золота в упорных породах может быть заключено в кристаллической решётке пирита и арсенопирита, а его размеры не превышают 1–5 мкм [4].

Структурные особенности упорных руд заключаются в развитой зональности, тонких прожилках, сложных сростках минералов и неоднородной форме распределения ценных компонентов. Часто такие руды имеют тонко- или скрытокристаллическую структуру, а зернистость полезных минералов не превышает нескольких десятков микрометров. В таких условиях даже глубокое измельчение (до 85–90 % класса –0,074 мм) не обеспечивает полного раскрытия минералов. Это приводит к тому, что значительная часть ценных компонентов уходит в хвосты флотации.

Технологические свойства упорных сульфидных руд также осложняются наличием значительного количества шламов, глинистых минералов (серицита, каолинита, хлорита), тонких пленок окисления на поверхности сульфидов, вторичных оксидных фаз и карбонатных включений. Всё это ухудшает адсорбционную способность поверхности минералов и

снижает эффективность взаимодействия традиционных собирателей с сульфидными частицами.

Особенно трудной является флотация частиц размером <20 мкм. Исследования показывают, что мельчайшие частицы обладают повышенной поверхностной энергией, сильной тенденцией к агрегированию, повышенной адсорбцией модифицирующих реагентов и сниженной вероятностью столкновения с пузырьками воздуха. Именно поэтому эффективность флотации микрочастиц снижается в 1,5–2 раза по сравнению с более крупными фракциями [4].

1.2 Совершенствование флотационных процессов и флотореагентов

Основой экономики Казахстана является горнometаллургический комплекс, который играет важную, а по ряду отраслей – стратегическую роль не только в Казахстане, но и в мире. По добыче и производству отдельных видов минерально-сырьевой продукции (цинк, свинец, медь) Казахстан входит в десятку ведущих мировых производителей.

Как правило, в технологии получения цветных металлов основной операцией, определяющей степень их извлечения, является флотационное обогащение. Используемые в технологическом цикле флотореагенты производятся за рубежом, что усиливает импортную зависимость государства [5].

С другой стороны, запасы высококачественного сырья в республике год от года сокращаются, возрастает доля труднообогатимых и низкосортных руд, что приводит к снижению показателей флотации, а в некоторых случаях делает невозможным использования традиционных (классических) технологий обогащения.

В этой связи, актуальным направлением научно-технологического развития отрасли является совершенствование технологий обогащения руд цветных и редких металлов в целом, а синтез новых флотореагентов на основе дешёвого отечественного сырья и применение их в процессе извлечения полезных ископаемых - один из вариантов модернизации способа флотации [5].

Наряду с совершенствованием технологического процесса, особое внимание исследователями уделяется синтезу флотореагентов .

В научной литературе часто встречаются работы, посвящённые целесообразности сочетания низкомолекулярных реагентов, типа ксантогенатов, с различными органическими соединениями, содержащими в молекулах, наряду с полярными, аполярные радикалы. Такие реагенты не являются собирателями, но их добавки к традиционным флотореагентам существенно усиливают собирательную способность [3]. К недостаткам подобных флотореагентов можно отнести достаточно высокую стоимость.

В последнее время заметно вырос интерес к гетероорганическим соединениям нефти в плане их использования при флотации полиметаллических руд. Этому вопросу ранее были посвящены работы автора, в которых впервые изучены закономерности флотации цинка с использованием сернисто - ароматических концентратов (САК), выделенных экстракцией из высокосернистой нефтяной фракции [8]. Данные концентраты использовали в качестве добавок к бутиловому ксантогенату калия при обогащении свинцово-цинковых руд месторождения "Жайрем". Установлено, что сернисто-ароматический концентрат модифицирует поверхность сфалерита. На поверхности минерала он играет двойную роль: способствует гидрофобному смачиванию за счет тонкой пленки органической фазы и выступает как самостоятельный флотореагент. На данный способ получен патент [9]. Автор также рассматривает применение данных реагентов-собирателей для извлечения благородных металлов [10].

Т.Н. Матвеева и Н.К. Громова в своих исследованиях уделили внимание вопросам использования отдельных производных меркаптана в качестве флотореагентов, в частности, исследовали сорбционные и флотационные свойства меркаптобензотиазола. Данный реагент использовали в процессе флотации при извлечении благородных металлов из сложного сырья на основе пирита и пиротина. Установлено, что в сочетании с фосфатными составляющими данный реагент положительно зарекомендовал себя в качестве собирателя в процессе селективной флотации [11].

Данное направление исследований получило развитие и в работах отечественных ученых, которые изучили состав нефти и нефтепродуктов Кумкольского месторождения, разработали способ синтеза флотореагентов на их основе [12-13]. Определив ряд параметров эмульгирования смесей на основе нефтепродуктов, показали, что применение механического и особенно ультразвукового эмульгирования обеспечивает получение тонкодисперсных, однородных по гранулометрическому составу и стабильных эмульсий, интенсифицирующих действие аполярных собирателей при флотации и снижающих до минимума их расход на обогатительных предприятиях. Разработана технологическая схема и реагентный режим флотации хвостов обогащения медных руд Жезказганской обогатительной фабрики с применением данных флотореагентов, что позволило увеличить извлечение меди на 7, 94 %.

Кроме того, были проведены исследования с использованием высокосернистой нефти месторождения Жанажол. Изучалась возможность применения нефти в смеси с ксантогенатом в качестве флотореагентов. В процессе исследований было показано, что применение смеси нефти месторождения Жанажол с бутиловым ксантогенатом позволило повысить степень извлечения золота из техногенного сырья на 4,0-5,0% [14].

Таким образом, все рассмотренные варианты совершенствования процесса флотации, в том числе и получение модифицированных флотореагентов, имеют каждый свои достоинства и недостатки. Однако до

сих пор не внедрены в производство в силу ряда причин: сложность в исполнении, трудоемкость, высокая себестоимость и др.

Отличительной особенностью предлагаемого нами способа является использование, наряду с сырой нефтью и ксантогенатом также серосодержащих отходов переработки нефти, что снижает себестоимость получаемых модифицированных флотореагентов.

1.3 Собиратели флотации: классификация, структура и механизм действия

Наиболее известными являются реагенты-собиратели, которые представляют собой органические соединения, применяемые при флотации для гидрофобизации минералов, достигаемой в результате закрепления молекул или ионов собирателя на их поверхности. Назначение гидрофобизации - снизить до минимума смачиваемость минералов водой, т.е. сделать их гидрофобными. Для большинства собирателей характерна сложная асимметрическая структура молекулы, состоящая из двух частей, отличных по своим химическим и физико-химическим свойствам, – аполярной и полярной [5].

Вместе с тем, большая часть нефтяных месторождений Казахстана характеризуется большим содержанием в ней серы и сернистых соединений. С позиций химии нефть – сложная исключительно многокомпонентная взаиморастворимая смесь газообразных, жидких и твердых углеводородов различного химического строения с числом углеродных атомов до 100 и более с примесью гетероорганических соединений серы, азота, кислорода и некоторых металлов. Поскольку нефть и нефтепродукты представляют собой многокомпонентную смесь углеводородов и гетероатомных соединений, то обычными методами перегонки не удается разделить их на индивидуальные соединения со строго определенными физическими константами, в частности, температурой кипения при определенном давлении. Наиболее важный показатель качества нефти, определяющий выбор метода переработки, ассортимент и эксплуатационные свойства получаемых нефтепродуктов, – химический состав и его распределение по фракциям. Гетероатомные (серо-, азот- и кислородсодержащие) и минеральные соединения, содержащиеся в нефти, являются нежелательными компонентами, поскольку резко ухудшают качество получаемых нефтепродуктов и осложняют переработку.

В исходных (нативных) нефтях содержатся в различных соотношениях все классы углеводородов, кроме непредельных (алкенов) соединений: парафиновые (алканы), нафтеновые (циклоалканы), ароматические (арены) и гибридные – парафинонафено-ароматические. По химическому составу нефти различных месторождений весьма разнообразны. Поэтому обсуждение можно вести лишь о составе, молекулярном строении и свойствах «среднестатистической» нефти. Менее всего колеблется элементный состав

нефти: 82,5-87 % углерода; 11,5-14,5 % водорода; 0,05 - 0,35, редко до 0,7 % кислорода; до 1,8 % азота и до 5,3, редко до 10 % серы. О количестве сернистых соединений в нефти судят по результатам определения общего содержания серы, выраженного в процентах. Такой анализ является косвенным и не дает точного представления о содержании, распределении по фракциям и молекулярной структуре сернистых соединений в нефти. Ориентировочно можно принять, что количество серосодержащих соединений в нефти в 10-12 раз превышает количество серы, определенной по анализу.

Сера является наиболее распространенным гетероэлементом нефти и нефтепродуктов. Содержание ее колеблется от сотых долей до 5 – 6 % масс., реже до 14 % масс. Низким содержанием серы характеризуются нефти следующих месторождений: Озексутское (0,1 %), Сураханская (Баку 0,05 %), Доссорское (Эмба 0,15 %), Бориславское (Украина 0,24 %), Узеньское (Мангышлак 0,25 %), Туркмения 0,27 %, Речицкое (Белоруссия, 0,32 %) и Сахалинское (0,33-0,5 %). Богаты серосодержащими соединениями нефти Урала, Поволжья и Сибири: количество серы в Арланской нефти достигает 3,0 % масс., а в Усть-Балыкской - 1,8 % масс. Из зарубежного наиболее высокого содержания серы отличаются нефти месторождения Эбано-Пануко (Мексика, 5,4 % масс.), Роузл Пойнт (США - до 14 % масс.). В последнем случае практически все соединения нефти являются серосодержащими.

Распределение серы по фракциям зависит от природы нефти и типа сернистых соединений. Как правило, их содержание увеличивается от низкокипящих к высококипящим и достигает максимума в остатке от вакуумной перегонки нефти - гудроне. В нефти идентифицированы следующие типы серосодержащих соединений:

элементная сера и сероводород - не являются непосредственно сероорганическими соединениями; меркаптаны - тиолы, обладающие, как и сероводород, кислотными свойствами и наиболее сильной коррозионной активностью; алифатические сульфиды (тиоэфиры)- нейтральны при низких температурах, но термически мало устойчивы и разлагаются при нагревании выше 130-160 °С с образованием сероводорода и меркаптанов; моно- и поликлинические сульфиды - термически наиболее устойчивые.

Элементная сера, сероводород и меркаптаны как весьма агрессивные сернистые соединения являются наиболее нежелательной составной частью нефти. Их необходимо полностью удалять в процессах очистки всех товарных нефтепродуктов.

В то же время в последние годы во многих странах мира разрабатываются и интенсивно внедряются промышленные процессы по синтезу сернистых соединений, аналогичных содержащимся в нефти и имеющих большую народнохозяйственную ценность. Меркаптаны применяют для синтеза флотореагентов, фотоматериалов, красителей специального назначения, в фармакологии, косметике и многих других областях. Сульфиды служат компонентами при синтезе красителей, продукты

их окисления - сульфоксиды, сульфоны и сульфокислоты - используют как эффективные экстрагенты редких металлов и флотореагенты полиметаллических руд.

Эффекты использования во флотации смесей собирателей, имеющих разную функциональную группу и/или одну и ту же функциональную группу, но разную длину углеводородной цепи, изучались многими исследователями. В заводской практике уже давно используются различные типы смесей коллекторов (ионно-нейоногенные, анионно-катионные, анионно-анионные) [15,16].

1.4 Применение нефтяных реагентов в процессах флотации

Известен эффективный аполярный стимулятор сульфидильного собирателя при флотации цинксодержащих сульфидных руд, который представляет собой сероароматический нефтяной концентрат (САК), имеющую общую формулу $C18.2-21.2H27.3-33N0,04-0,06S0,27-0,5$ с молярной массой 260-305 [17,18].

Повышение показателей процесса пенной сепарации алмазосодержащего сырья возможно за счет применения эффективных собирателей. Результатами исследований показано, что эффективные компаундные собиратели для пенной сепарации алмазов могут быть получены смешиванием различных нефтепродуктов и нефти при выдерживании определенных соотношений между базовыми фракциями легких дистиллятов, нефтяных масел, смол и асфальтенов. Для изучения активности компаундных собирателей были подготовлены композиции путем смешивания мазута флотского и активированной водонефтяной эмульсии рудника «Удачный» ВНЭ-У и рудника «Интернациональный» ВНЭ-10 в различных соотношениях и были выполнены флотационные опыты с использованием их в качестве реагента-собирателя. Наибольшее извлечение алмазов в концентрат пенной сепарации наблюдается при массовой доле легких дистиллятов 35-48 %, нефтяных масел – 32-40 % и смолы и асфальтенов – 17-24 %. Близкий к оптимальному фракционный состав компаундного собирателя и высокое извлечение алмазов в пенной сепарации достигается при смешивании дизельного топлива, флотского мазута и водонефтяных эмульсий. Достигнутый уровень извлечения алмазов в операции пенной сепарации при использовании компаундного собирателя на основе водонефтяных эмульсий и дизельного топлива превышает на 1,1-1,5 % уровень извлечения, достигаемого при использовании в качестве собирателя мазута флотского Ф-5. Полученные результаты позволяют рекомендовать компаундные собиратели предложенного фракционного состава для полноценного извлечения мелких классов алмазов из алмазосодержащих кимберлитов методом пенной сепарации [19].

Разработана методика исследования явления ультразвуковой эмульсификации, при которой нефть диспергируется в виде мелкой суспензии в воде при частоте 20 кГц. Установлено, что эмульгирование происходит в две стадии. На первом этапе из-за неустойчивости межфазных волн образуются капли нефти размером порядка 70 мкм. На втором этапе эти крупные капли последовательно разбиваются на мелкие путем кавитации до тех пор, пока не будет достигнут стабильный размер капель. В данной работе критерий неустойчивости межфазных волн разработан на основе линеаризованного анализа устойчивости плоской границы раздела нефть-вода, подвергающейся акустическому возбуждению. Характерный диаметр капли, возникающий в результате нестабильности, связан с длиной волны индуцированного капилляра на границе раздела [20].

Мощный ультразвук является одним из способов механического получения эмульсий. Несмотря на многочисленные публикации об основных принципах этого метода, недостаточно знаний о процессах непрерывного ультразвукового эмульгирования и основных параметрах, имеющих практическое значение. Проведено сравнение данной системы с другими механическими эмульгирующими устройствами непрерывного действия. Влияние вязкости непрерывной фазы на разрушение капель ультразвуком является предметом более детального исследования. Вязкость непрерывной фазы варьируется с помощью водорастворимых стабилизаторов (системы «м/в») и различных масел (системы «м/н»). При постоянной плотности энергии размер капель уменьшается при добавлении стабилизаторов, тогда как вязкость масла в эмульсиях «б/м» не влияет. Качественные исследования локального распределения кавитации показали очень малую глубину проникновения кавитации в жидкость. Это подчеркивает необходимость совершенствования конструкции аппаратов для оптимизации процесса эмульгирования.

1.5 Характеристика Риддер-Сокольского месторождения

Основой корпорации ОАО «Казцинк», являются предприятия Риддерского горно-обогатительного комплекса. Сырьевой базой РГОКа служат Риддер-Сокольное и Тишинское месторождения. Риддер-Сокольное месторождение разрабатывается Алтайским рудником, создавшемся в мае 2001 г. путем слияния рудников. В состав РГОКа входят также: Тишинский рудник, обогатительные фабрики и ряд вспомогательных цехов и служб. Открытие Риддерского месторождения связано с освоением природных богатств Алтая, начало которому было положено Акинфием Демидовым, проникшим в эти края в первой четверти 18 века. Открытие Ф.Риддером 31 мая 1786 г. нового прииска, как и большинства алтайских рудников того периода, произошло по следам «чудских» разработок.

Риддер-Сокольное месторождение находится на Рудном Алтае, на территории Казахстана. Открыто по следам древних «чудских разработок» в 1784 г. и с тех пор практически непрерывно эксплуатируется. Месторождение связано с девонской базальт - риолитовой формацией и размещается в пределах региональной вулкано-тектонической депрессии. Рудовмещающие эмисско-эйфельские вулканогенно-осадочные породы залегают на метаморфических сланцах нижнего палеозоя. Подрудная часть разреза сложена эффузивно-пирокластической толщей риолитового состава мощностью от 600 до 1100 м [21].

Главные рудообразующие минералы сфалерит, галенит, халькопирит, второстепенные - тетраэдрит, теннантит, марказит, арсенопирит, золото, серебро, редкие - борнит, молибденит, алтait, самородный висмут, висмутин и др. Среди нерудных преобладают кварц, карбонаты, серицит, барит, хлорит. В пластовой части рудных тел преобладают массивные, слоистые, полосчатые, колломорфные и брекчевые текстуры; жильно-штокверковые руды характеризуются прожилково-вкрапленными, прожилково-полосчатыми, пятнистыми текстурами .

Для исследований представлена исходная проба полиметаллический руды Риддер-Сокольного месторождения.

2 Экспериментальная часть

2.1 Объект исследования

Для исследований представлена исходная проба полиметаллической руды Риддер-Сокольского месторождения. На данной пробе исходной руды были сделаны рентгено-флуоресцентный, микрозондовый, химический, рентгенофазовый и минералогический анализы.

2.2 Рентгено-флуоресцентный анализ

Рентгено-флуоресцентный анализ проводился на рентгенофлуоресцентном спектрометре с волновой дисперсией Venus 200 PANalytical B.V. (PANalytical B.V., Голландия). Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты рентгено-флуоресцентного анализа исходной полиметаллической руды Риддер-Сокольского месторождения

Compound formula	Concentration	Status	Compound formula	Concentration	Status
O	53,178	BgC, DC	Mn	0,068	BgC, DC
Na	0,052	BgC, DC, LoR	Fe	1,610	BgC, DC, LoR
Mg	1,155	BgC, DC	Ni	0,010	BgC, DC
Al	4,879	BgC, DC	Cu	0,139	BgC, DC
Si	32,217	BgC, DC	Zn	0,276	BgC, DC
P	0,035	BgC, DC	As	0,010	BgC, DC
S	0,550	BgC, DC	Rb	0,006	BgC, DC
Cl	0,015	BgC, DC	Sr	0,005	BgC, DC
K	1,014	BgC, DC	Zr	0,010	BgC, DC
Ca	1,445	BgC, DC	Ba	0,707	BgC, DC
Ti	0,307	BgC, DC	Pb	0,123	BgC, DC

По результатам рентгено-флуоресцентного анализа в исходной пробе содержится 53,17 % кислорода, 32,217 % кварца, 1,61 % железа, 0,139 % меди, 0,276 % цинка, 0,123 % свинца, 0,7 % барита.

2.3 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение Cu–Кα. Результаты рентгенофазового анализа представлены на рисунке 1 и в таблице 2.

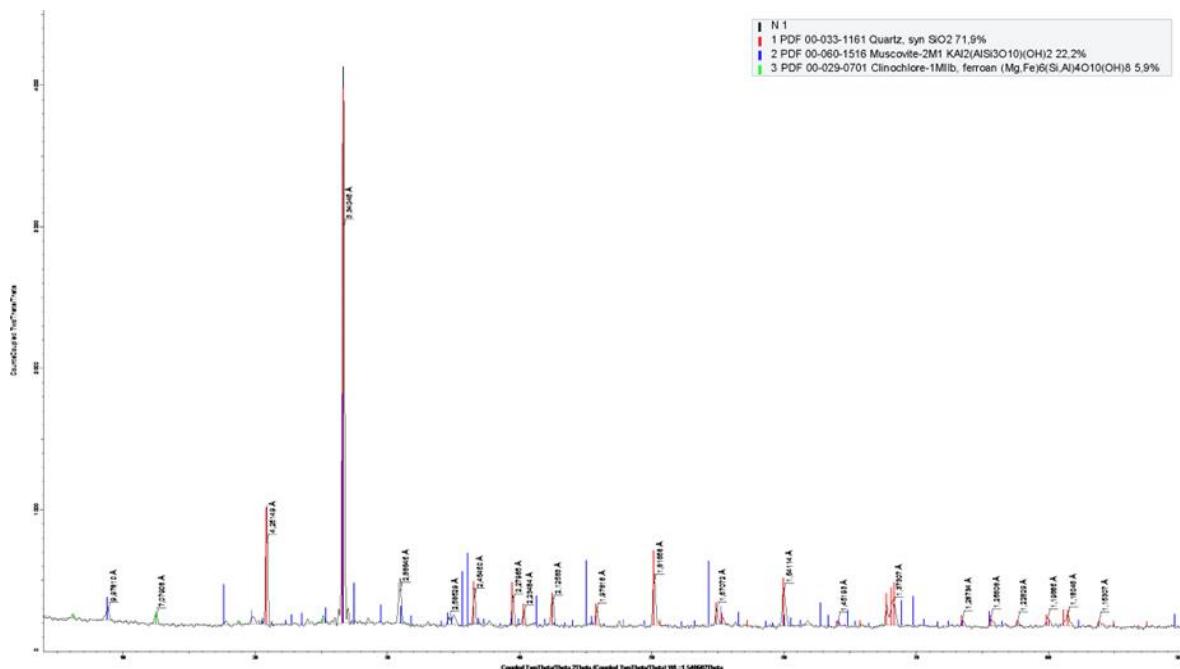


Рисунок 1 - Результаты рентгенофазового анализа исходной пробы Риддер-Сокольного месторождения

По результатам рентгено-фазового анализа в пробе содержится 71,9 % кварца SiO_2 , 22,2 % мусковита $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, 5,9 % клинохлора $(\text{Mg},\text{Fe})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Приведенные результаты фазового анализа относятся к кристаллической части исследуемого образца.

Таблица 2 - Результаты рентгенофазового анализа исходной полиметаллической руды Риддер-Сокольного месторождения

Compound Name	Formula	S-Q
Quartz, syn	SiO_2	71,9 %
Muscovite-2M1	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	22,2 %
Clinochlore-1MIIb, ferroan	$(\text{Mg},\text{Fe})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	5,9 %

2.4 Изучение вещественного состава пробы

Изучен вещественный состав исходной пробы Риддер-Сокольного месторождения. На изучение вещественного состава проб поступил дробленый материал. Из пробы изготовлен полированный искусственный анишлиф (брюкет), минералогический анализ проводился на микроскопе марки LEICADM 2500 Р. Результаты минералогического анализа представлены на рисунках 2-4.

Проба 1. Пирит-желтый, изотропный минерал. Отмечается в виде неправильных зерен, редко пентагондодекаэдр. Размер зерен составляет 0,1 мм (рис. 2).

Халькопирит CuFeS_2 обладает исключительно характерным латунно-желтым цветом, позволяющим легко отличать его от всех других рудных минералов. Он имеет высокую отражательную способность и едва заметную анизотропию. Внутренние рефлексы отсутствуют. Наблюдаются в виде ангедральной формы с извилистыми ограничениями. Размер зерен составляет 0,09 мм (рис.2).

Галенит - белый, изотропный минерал. Отмечаются треугольники выкрашивания. Форма - неправильная. Размер зерен составляет 0,125 мм (рис. 3).

Сфалерит изотропный минерал, обладает серым цветом. Наблюдается в виде ангедральной формы без четких ограничений. Размер зерен составляет 0,1 мм (рис.4).

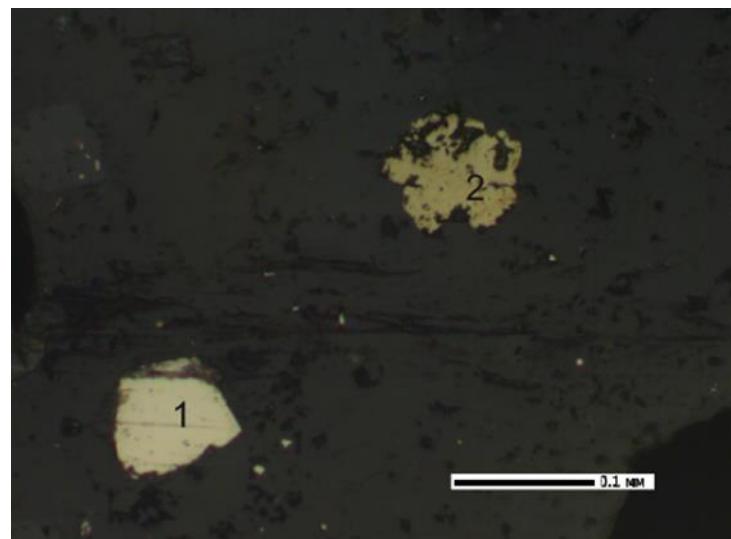


Рисунок 2 - Пирит (1) и халькопирит (2). Проба 1, ув.200

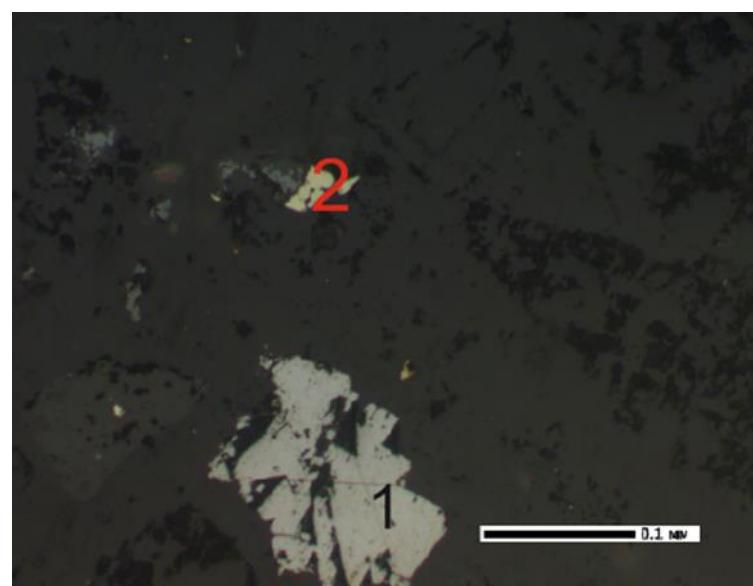


Рисунок 3 - Галенит (1) и пирит (2). Проба 1, ув.200

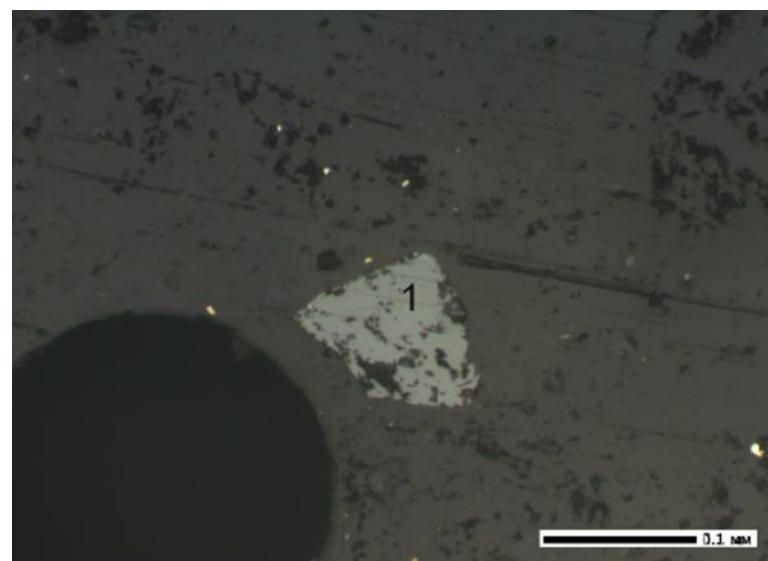


Рисунок 4 - Сфалерит (1). Проба 1, ув.200

ИК-спектроскопический анализ проводился на ИК-Фурье спектрометре «Avatar 370 CsI» в спектральном диапазоне 4000-300 см⁻¹ от препарата в виде таблетки, приготовленной прессованием 3 мг пробы и 200 мг KBr. Приставка для эксперимента: Transmission E.S.P. Результаты ИК-анализа исходной пробы представлены на рисунке 5.

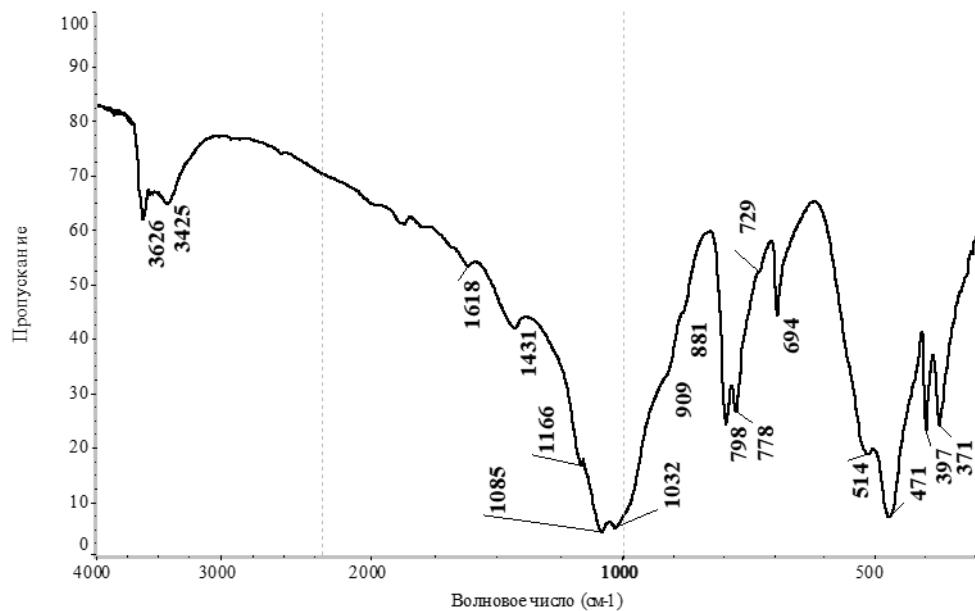
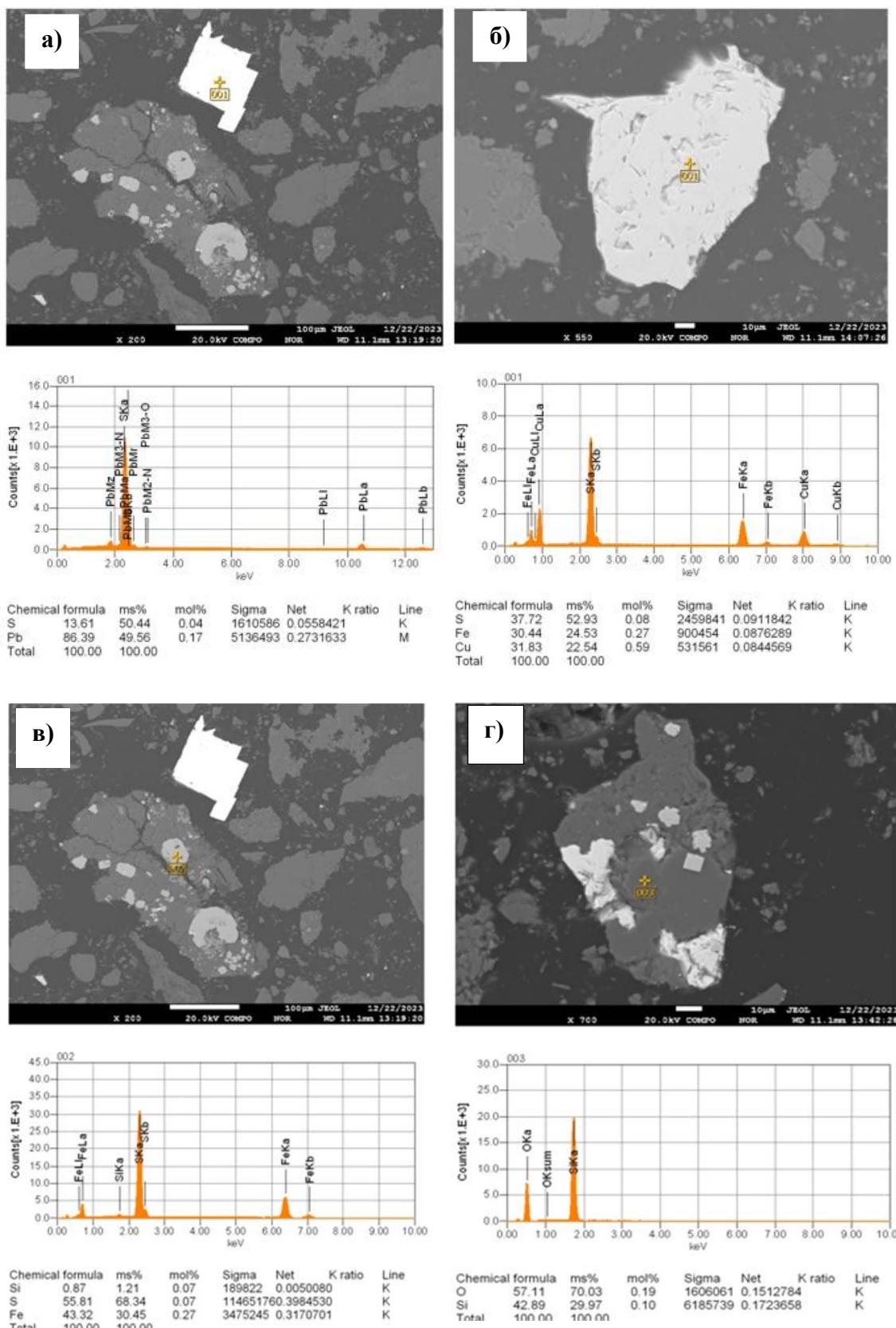


Рисунок 5 - Инфракрасный спектр анализа исходной пробы руды Риддер-Сокольного месторождения

На рисунке 5 представлен инфракрасный спектральный анализ пробы, результаты которого показывают, что в пробе в полосах встречается: Quartz SiO₂ – 1166, 1085, 798, 778, 694, 514, 471, 397, 371 см⁻¹ [15,16,17]. Muscovite KAl₂[(OH,F)₂ AlSi₃O₁₀] – 3626, 3425, 1618, 1032, 909п см⁻¹ [15, 16]. Dolomite CaMg[CO₃]₂ – 1431, 881, 729 см⁻¹ [15, 16].

2.5 Микрозондовый анализ

Микрозондовый анализ проводился на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL. Результаты анализа представлены на рисунке 6.



а) галенит; б) халькопирит; в) пирит; г) кварц

Рисунок 6 - Микрозондовый анализа исходной пробы Риддер-Сокольнского месторождения

Основная часть РЭМ-снимков производилась в режиме обратно рассеянных электронов (СОМПО), который минимизирует ухудшение разрешения и дает более качественные изображения таких порошков по сравнению с режимом наблюдений съемки во вторичных изображениях (SEI). Во всех случаях наблюдения и накопления ЭДС-данных был выбран ток пучка порядка 10 нА, отвечающий достаточной скорости накопления данных. Кроме того, делались РЭМ-микрофотографии повышенного разрешения тех же участков, которые использовались для ЭДС-анализа, РЭМ изображения исходной руды, представляющие собой монолитные и агломерированные частицы, а также мелкодисперсные частицы микронного масштаба.

На рисунках 6 и 7, представлен микроснимок исходной руды Риддер-Сокольского месторождения на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL из которого видно, что руда характеризуется тонкой вкрапленностью меди, свинца и цинка в минералы пустой породы и недостаточной степенью измельчения руды.

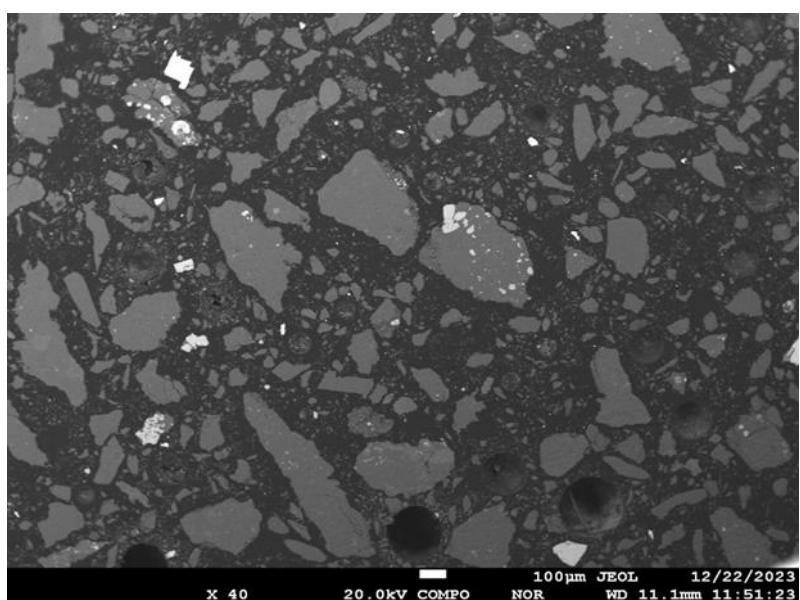


Рисунок 7 - Микрозондовый анализа исходной пробы Риддер-Сокольского месторождения

По результатам химического анализа в исходной пробе Риддер-Сокольского месторождения содержится 0,18 % свинца, 0,35 % цинка, 0,12 % меди, 2,03 % железа, 1,4 - 1,36 г/т золота и 3,43 г/т серебра.

2.6 Гранулометрический анализ исходной пробы

Проведен гранулометрический анализ исходной пробы, результаты представлены в таблице 3 и на рисунке 8.

Таблица 3 – Результаты гранулометрического анализа исходной руды Риддер-Сокольского месторождения

Классы крупности, мм	Выход, %	Суммарный выход, %	
		Плюс (+)	Минус (-)
+1,6 мм	2,62	2,62	97,38
-1,6 +1,0 мм	6,56	9,18	90,82
-1,0 + 0,5 мм	28,82	38	62
-0,5+ 0,2 мм	31,68	69,68	30,32
-0,2 + 0,1 мм	9,48	79,16	20,84
-0,1 + 0,071 мм	9,94	89,1	10,9
-0,071 + 0,04 мм	10,06	99,16	0,84
-0,04 + 0 мм	0,84	100	0

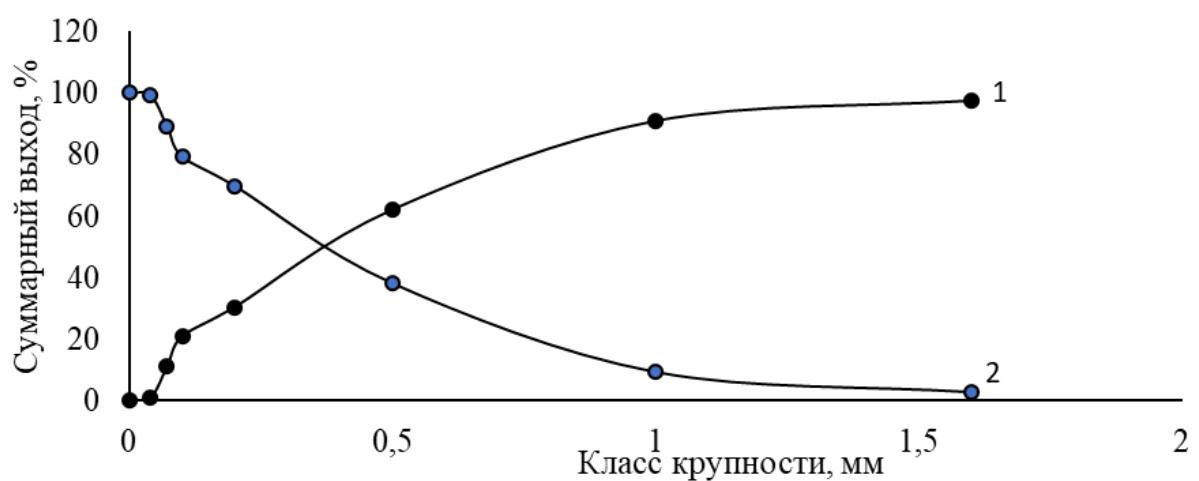


Рисунок 8 - Результаты гранулометрического анализа исходной руды Риддер-Сокольского месторождения

1) класс – 0,071 мм; 2) класс +0,071 мм

Результаты гранулометрического анализа исходной руды показывают, что руда является тонко вкрапленной, большая часть полезных компонентов от 69,38% до 99,16 % сосредоточена в классах от -0,5+0,2 мм до -0,071+0,04 мм, руда относится к упорным рудам.

2.7 Отработка оптимальных параметров флотационного обогащения упорных сульфидных руд с применением традиционных собирателей

В качестве объекта исследований использована исходная руда Риддер-Сокольного месторождения. Проведен ситовой анализ исходной пробы, результаты представлены в таблицах 4 -5 и на рисунке 9.

Таблица 4 – Результаты ситового анализа исходной руды Риддер-Сокольного месторождения

Классы крупности, мм	Выход, %	Суммарный выход, %	
		плюс (+)	минус (-)
0,071 мм	29,58	29,58	70,42
0,04 мм	16,76	46,34	53,66
0,02 мм	13,92	60,26	39,74
0 мм	39,74	100	0

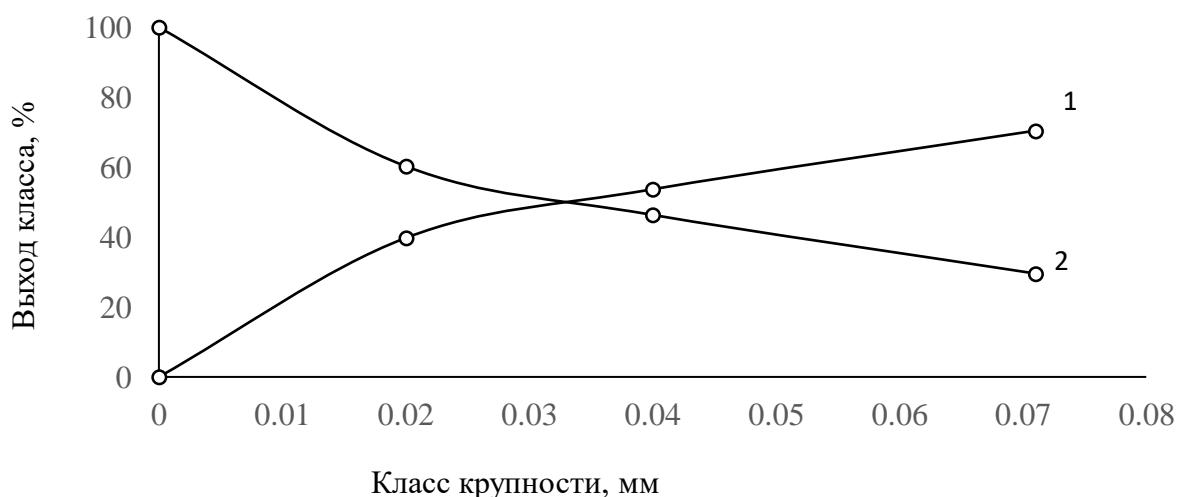


Рисунок 9 - Результаты ситового анализа исходной руды Риддер-Сокольного месторождения

Результаты ситового анализа исходной пробы Риддер-Сокольного месторождения показывают, что основная часть металлов сосредоточена в классах крупности $-0,071 + 0,04$ мм; $-0,044 + 0,02$ мм. Подготовка руды к исследованиям включала измельчение на шаровой мельнице 40 МЛ-000ПС.

Таблица 5 – Распределение металлов по классам крупности исходной руды Риддер-Сокольного месторождения

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание, % и г/т					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
+0,071	29,58	0,08	0,03	0,231	1,61	1	3,02
-0,071+0,04	16,76	0,18	0,12	0,507	1,87	2,1	3,5
-0,04 + 0,02	13,92	0,22	0,23	0,559	2,23	2,8	4,7
-0,02 + 0	39,74	0,11	0,16	0,305	2,23	0,47	3,3
Исходная руда	100	0,13	0,12	0,35	1,98	1,22	3,44
Классы крупности, мм	Выход, %	Распределение, % и г/т					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
+0,071	29,58	18,44	7,07	19,39	23,98	24,16	25,93
-0,071+0,04	16,76	23,52	16,16	24,11	15,78	28,75	17,03
-0,04 + 0,02	13,92	23,91	25,72	22,09	15,63	31,84	18,99
-0,02 + 0	39,74	34,14	51,05	34,41	44,62	15,25	38,06
Исходная руда	100	100	100	100	100	100	100

Изучена кинетика измельчения исходной руды Риддер-Сокольного месторождения по классам -0,02; - 0,044 и - 0,071 мм без измельчения и с измельчением. Измельчение исходной руды проводилось от 15 до 45 минут. Для лабораторного определения измельчаемости исходная руда измельчалась в лабораторной шаровой мельнице. Результаты представлены на рисунках 10 и 11, в таблице 6.

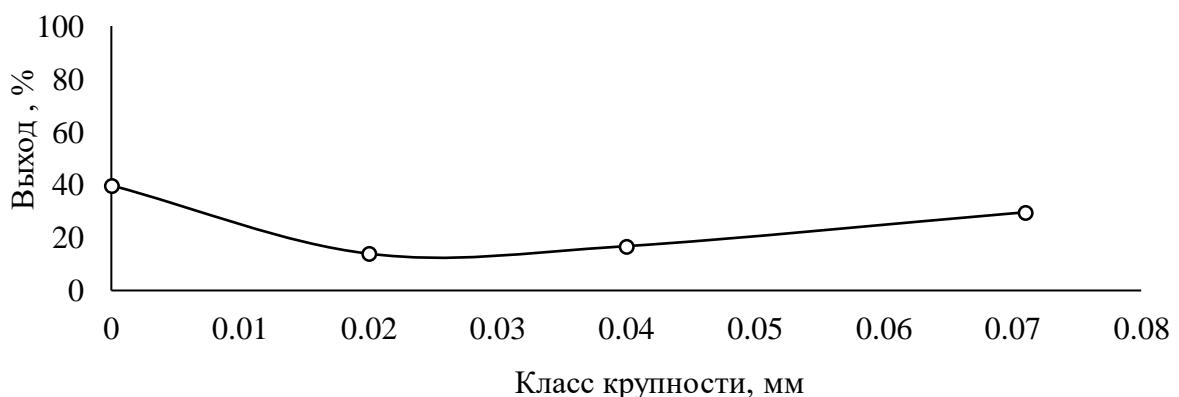


Рисунок 10 - Кинетика исходной руды без измельчения

Таблица 6 - Результаты кинетики измельчаемости исходной руды Риддер-Сокольного месторождения

Время, мин.	Класс крупности, мм			
	- 0,071	+ 0,071	- 0,044	+ 0,044
0	21,56	78,44	16,64	83,36
15	59,66	40,34	44,98	55,02
30	91,74	8,26	70,32	29,68
45	94,1	5,9	75,2	24,8

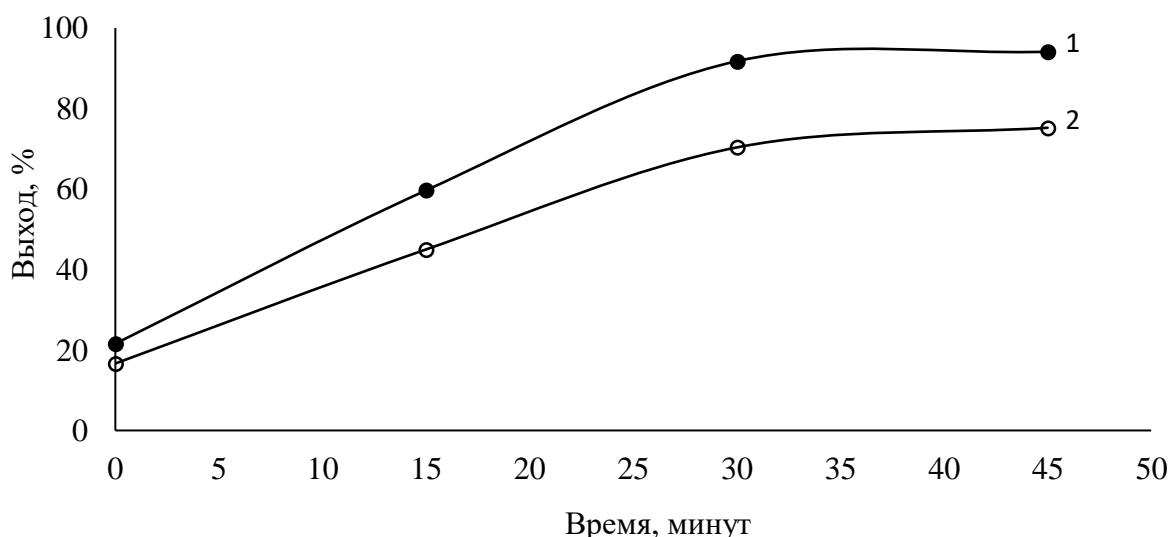


Рисунок 11- Кинетика измельчаемости исходной руды Риддер-Сокольного месторождения

1 – класс - 0,071 мм; 2 – класс - 0,044 мм

Оптимальное измельчение исходных руд составляло 70 % класса - 0,071 мм.

2.8 Лабораторные исследования по флотации упорной сульфидной руды Риддер-Сокольного месторождения

Исследования по флотации проведены на лабораторных флотационных машинах ФМЛ-1,5; ФМЛ-1, ФМЛ-2 с объемом флотационных камер 1,5; 0,75; 0,5 дм³.

Проведена отработка реагентного режима флотации упорных сульфидных руд Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов. Определен оптимальный режим измельчения. Выбраны расходы базовых реагентов.

Проведены исследования по флотации упорной сульфидной руды Риддер-Сокольного месторождения по базовой прямой коллективной схеме. Измельчение исходной руды составляло 70 % класса -0,071 мм. Коллективный цикл состоял из основной и контрольной флотации и двух перечисток коллективного медно-свинцово-цинкового концентратата. В основную коллективную флотацию подавали регулятор среды – известь для создания pH = 8,5 – 9, жидкое стекло для депрессии пирита и пустой породы, собираатель - бутиловый ксантогенат натрия и аэрофлот, пенообразователь - Т-80. В контрольную коллективную флотацию подавали собираатель и вспениватель, в перечистки - жидкое стекло для депрессии пустой породы. Результаты флотации труднообогатимой Риддер-Сокольной руды по базовому реагентному режиму представлены в таблице 7 и на рисунке 12.

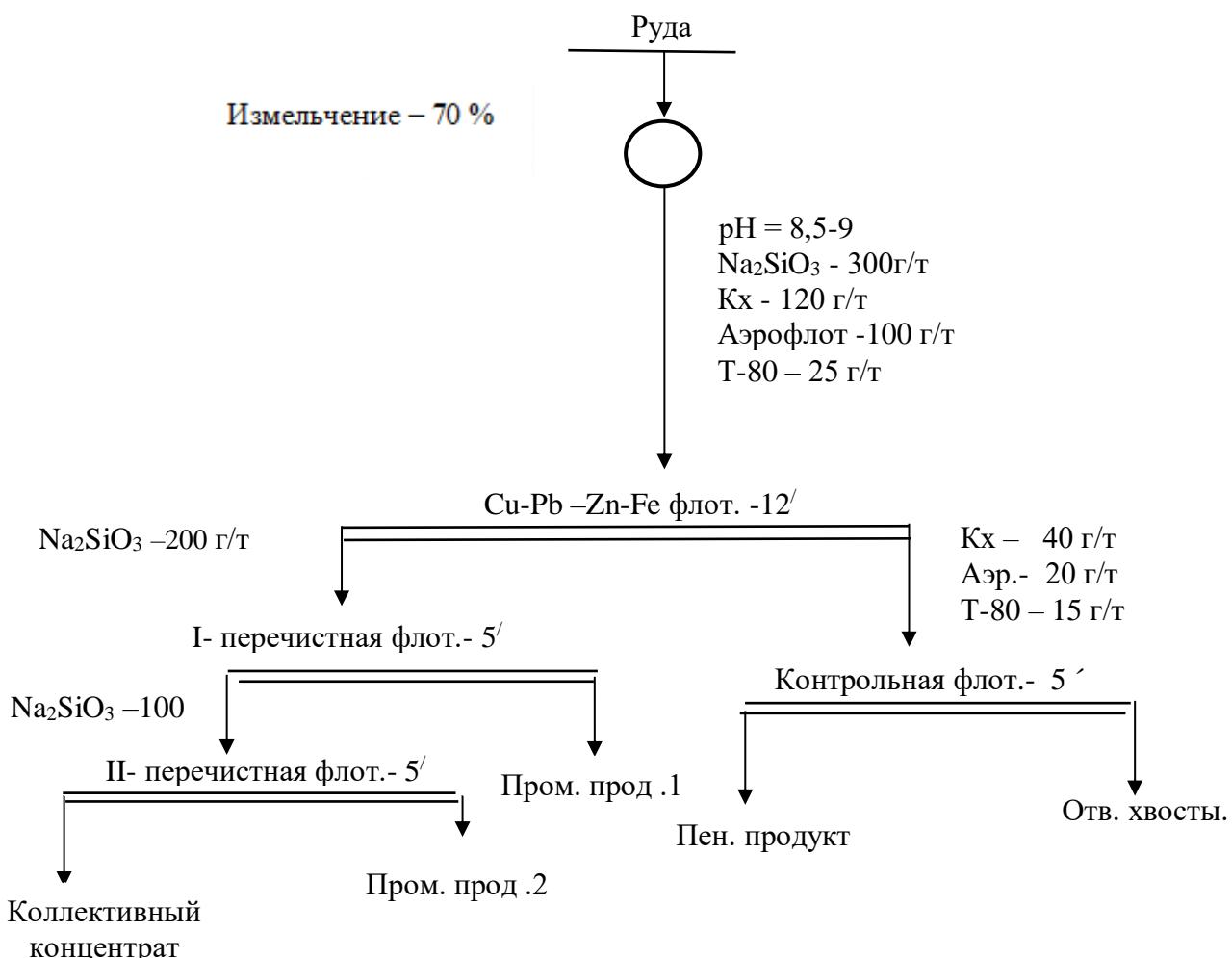


Рисунок 12- Технологическая схема и реагентный режим флотации руды Риддер - Сокольного месторождения

Проведены исследования по определению оптимального расхода бутилового ксантогената натрия. Расход варьировался от 140 до 180 г/т. В

результате проведенных исследований показано, что оптимальным расходом базового собираителя – бутилового ксантогената является 160 г/т. При этом получен коллективный концентрат с содержанием меди 2,213 %, свинца 2,1 %, цинка 4,92 % и золота 21,1 г/т. Извлечение коллективного концентратата составляло: меди 88,10 %, свинца 73,93 %, цинка 82,88 % и золота 82,80 %.

Таким образом, традиционные методы обогащения бедной упорной сульфидной руды не в полной мере обеспечивают достаточную степень разделения и высокое извлечения полезных компонентов и приводят к значительным потерям цветных и благородных металлов, а качество получаемых концентратов зачастую не соответствует требованиям для последующего технологического процесса.

В связи с этим инновационным решением повышения селективности флотации является разработка новых сульфидрильных собираителей с функциональными группами, способными избирательно адсорбироваться на поверхности минералов, изменять контрастность химического состава поверхности и улучшать флотационные свойства минеральных комплексов. Кроме того, синтез и применение новых флотореагентов могут способствовать замене токсичных реагентов экологически чистыми или менее токсичными.

Таблица 7 - Результаты флотации исходной руды Риддер-Сокольного месторождения с получением коллективного концентраты

Название продуктов	Выход, %	Содержание, % и г/т					Извлечение, % и г/т					Условия опытов
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	
Коллектив.конц.	5,48	2,91	2,084	5,2	13,171	22	90,66	66,47	84,79	33,95	81,14	Базовый режим БКс – 140 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	16,46	0,033	0,081	0,056	1,696	0,13	3,09	7,76	2,74	13,13	1,44	
2 перечистка	6,38	0,061	0,115	0,112	2,017	3,7	2,21	4,27	2,13	6,05	15,89	
Конц. контр.	8,7	0,031	0,106	0,204	1,918	0,16	1,53	5,37	5,28	7,85	0,94	
Отв. хвосты	62,98	0,007	0,044	0,027	1,317	0,014	2,51	16,13	5,06	39,02	0,59	
Исходная руда	100	0,18	0,17	0,34	2,13	1,49	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	5,6	2,213	2,1	4,92	10,79	21,1	88,10	73,93	82,88	27,85	82,80	Базовый режим Бкс – 160 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	17,04	0,028	0,068	0,056	1,432	0,33	3,39	7,28	2,87	11,25	3,94	
2 перечистка	4,1	0,067	0,137	0,122	1,604	0,93	1,95	3,53	1,50	3,03	2,67	
Конц. контр.	6,82	0,028	0,083	0,395	0,894	0,56	1,36	3,56	8,10	2,81	2,68	
Отв. хвосты	66,45	0,011	0,028	0,023	1,798	0,17	5,20	11,70	4,64	55,06	7,92	
Исходная руда	100	0,14	0,16	0,33	2,17	1,43	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4,3	2,96	2,742	5,4	12,487	23,2	89,12	68,02	81,03	20,23	81,51	Базовый режим Бкс – 180 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	17,44	0,026	0,102	0,07	1,794	0,25	3,17	10,26	4,26	11,79	3,56	
2 перечистка	4,86	0,066	0,095	0,123	2,44	0,36	2,25	2,66	2,09	4,47	1,43	
Конц. контр.	9,18	0,029	0,094	0,219	1,891	0,4	1,86	4,98	7,02	6,54	3,00	

Продолжение таблицы 7

Отв. Хвосты	64,22	0,008	0,038	0,025	2,354	0,2	3,60	14,08	5,60	56,97	10,49
Исходная руда	100	0,14	0,17	0,29	2,65	1,22	100	100	100	100	100

2.9 Отработка оптимальных технологических параметров флотационного обогащения упорной сульфидной руды с применением меркаптан-содержащих собирателей

Проведена отработка реагентного режима флотации упорных сульфидных руд Риддер-Сокольского месторождения с применением меркаптан-содержащих собирателей, на основе отходов нефтепереработки. Выбраны три разных соотношения бутилового ксантогената натрия с меркаптан-содержащим реагентом: 1:1; 1:2; 1:3.

Исследования по флотации проведены на лабораторных флотационных машинах ФМЛ-1,5; ФМЛ-1, ФМЛ-2 с объемом флотационных камер 1,5; 0,75; 0,5 дм³.

Схема флотации упорной сульфидной руды Риддер-Сокольского месторождения с получением коллективного концентратата включала измельчение, основную, контрольную флотации и две перечистки коллективного медно-свинцово-цинкового концентратата (рисунок 13).

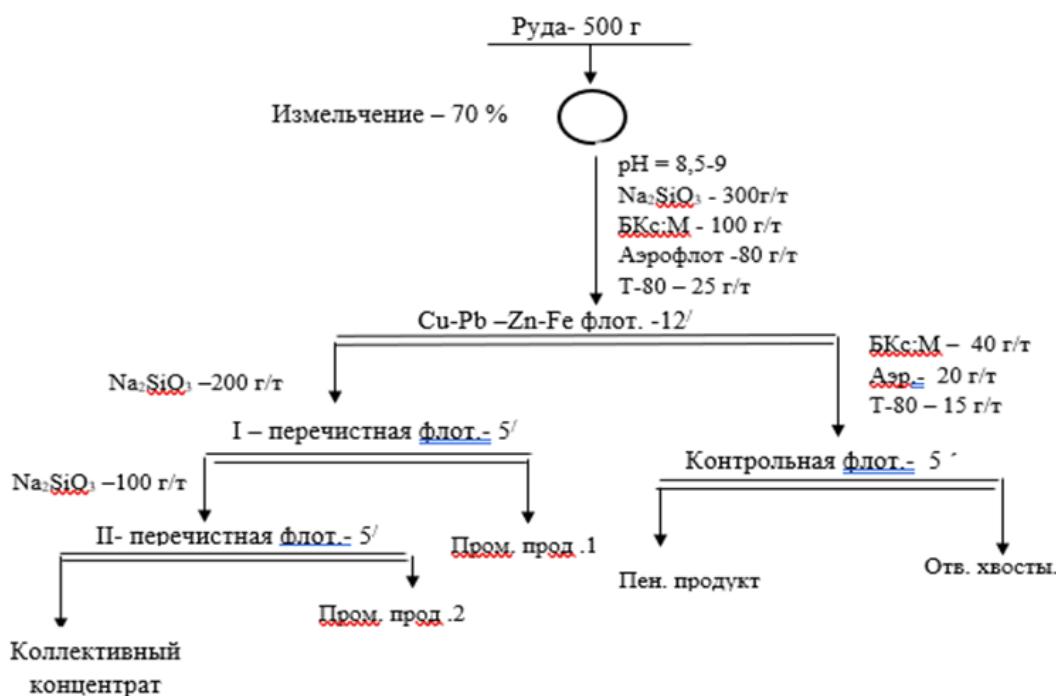


Рисунок 13- Технологическая схема и реагентный режим флотации руды Риддер - Сокольского месторождения

В качестве реагентов применялись известь, жидкое стекло, аэрофлот, пенообразователь Т-80 и композиции бутилового ксантогената натрия с меркаптан содержащим флотореагентом взамен базового собирателя. Проведена работа по определению оптимального расхода бутилового ксантогената натрия (БКс) с меркаптан-содержащим реагентом (М) при разных соотношениях с получением чернового коллективного концентрата, содержащего медь, свинец, цинк и золото.

Для получения устойчивой эмульсии меркаптансодержащий собиратель перед флотацией подвергали ультразвуковой обработке на ультразвуковом аппарате «JY99-Ultrasonic Homogenizer» (Китай) в течение 35 минут с частотой 25 кГц. Проведены исследования по подбору оптимального расхода эмульсии бутилового ксантогената с отходом нефтепродуктов Кенкиякского месторождения при флотации труднообогатимых полиметаллических руд Риддер-Сокольского месторождения. Расход смеси реагентов варьировался от 100 до 140 г/т. Результаты флотации представлены в таблицах 8-10.

В таблице 8 представлены результаты работы по определению оптимального расхода меркаптан-содержащего реагента – смеси бутилового ксантогената натрия и меркаптана в соотношении 1:1. В цикле коллективной флотации показано, что оптимальным расходом меркаптан-содержащего собирателя является расход 120 г/т. При этом получен черновой коллективный концентрат с содержанием, %: меди – 3,45; свинца - 2,79; цинка – 7,04 и золота – 27,1 г/т, при извлечении меди 90,15 %, свинца 70,14 %, цинка 81,21 % и золота 90,67 %. Меркаптансодержащий собиратель при меньшем расходе (по сравнению с суммарным расходом 160 г/т бутилового ксантогената) позволяет повысить содержание меди в концентрате на 1,237 %, цинка на 2,12 %, золота на 6 г/т и извлечение меди и золота соответственно, на 2,05 и 7,87 %.

Из таблицы 9 видно, что с применением меркаптансодержащего собирателя при соотношении 1:2, при оптимальном расходе 120 г/т, по сравнению с бутиловым ксантогенатом натрия, извлечение меди в коллективном концентрате повышается на 2,06 % (с 88,10 до 90,16 %); свинца на 6,5 % (с 73,93 до 80,40 %); цинка на 1,48 % (с 82,88 до 84,36 %) и золота на 3,6 % (с 82,80 до 86,40 %); содержание меди в черновом коллективном концентрате увеличивается на 1,42 % (с 2,213 до 3,64 %), свинца на 1,36 % (с 2,1 до 3,46 %); цинка на 3,4 % (с 4,92 до 8,32 %) и золота на 9,2 г/т (с 21,1 до 30,3 г/т) при этом расход реагента уменьшается на 40 г/т.

Аналогичные результаты с применением меркаптансодержащего собирателя при соотношении 1:3, при оптимальном расходе 120 г/т, приведены в таблице 10. При сравнении с бутиловым ксантогенатом натрия извлечение меди в черновом коллективном концентрате повышается на 2,1 % (с 88,10 до 90,20 %); свинца на 4,51 % (с 73,93 до 78,44 %); цинка на 7,14 % (с 82,88 до 90,02 %) и золота на 4,67 % (с 82,80 до 87,47 %); содержание меди в черновом коллективном концентрате увеличивается на 1,31 % (с 2,213

до 3,53 %), свинца на 0,7 % (с 2,1 до 2,8 %); цинка на 2,68 % (с 4,92 до 7,6 %) и золота на 6,1 г/т (с 21,1 до 27,2 г/т) при этом расход реагента уменьшается на 40 г/т.

Таблица 8 - Результаты флотации сульфидной руды с применением соотношения бутилового ксантогената натрия и меркаптана 1:1

Название продуктов	Выход, %	Содержание, % и г/т					Извлечение, % и г/т					Условия опытов
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	
Коллектив.конц.	4,9	2,75	2,2	5,51	8,41	21	88,84	68,82	80,45	23,37	86,60	БКс : М -1:1 – 100 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	16,6	0,033	0,078	0,051	1,581	0,22	3,61	8,27	2,52	14,88	3,07	
2 перечистка	6,14	0,061	0,104	0,092	1,814	0,068	2,47	4,08	1,68	6,32	0,35	
Конц. контр.	3,98	0,056	0,123	0,555	3,811	1,26	1,47	3,13	6,58	8,60	4,22	
Отв. хвосты	68,38	0,008	0,036	0,043	1,208	0,1	3,61	15,71	8,76	46,84	5,75	
Исходная руда	100	0,15	0,16	0,34	1,76	1,19	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4	3,45	2,79	7,04	12,97	27,1	90,15	70,14	81,21	29,78	90,67	
1 перечистка	17,4	0,033	0,061	0,051	1,491	0,086	3,75	6,67	2,56	14,89	1,25	
2 перечистка	5,06	0,064	0,102	0,108	2,018	0,182	2,12	3,24	1,58	5,86	0,77	
Конц. контр.	4,94	0,04	0,087	0,459	2,386	0,38	1,29	2,70	6,54	6,77	1,57	
Отв. хвосты	68,6	0,006	0,04	0,041	1,084	0,1	2,69	17,25	8,11	42,69	5,74	БКс : М -1:1 – 120 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
Исходная руда	100	0,15	0,16	0,35	1,74	1,20	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4,36	2,98	2,48	5,83	10,52	21,5	88,75	66,28	80,02	25,69	86,07	
1 перечистка	14,1	0,03	0,087	0,059	1,885	0,2	2,89	7,52	2,62	14,89	2,59	
2 перечистка	5,12	0,072	0,102	0,113	2,193	0,18	2,52	3,20	1,82	6,29	0,85	
Конц. контр.	7,28	0,032	0,088	0,279	2,439	0,62	1,59	3,93	6,39	9,95	4,14	БКс : М -1:1 – 140 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
Отв. хвосты	69,14	0,009	0,045	0,042	1,115	0,1	4,25	19,07	9,14	43,18	6,35	
Исходная руда	100	0,15	0,16	0,32	1,79	1,09	100	100	100	100	100	

Таблица 9 - Результаты флотации сульфидной руды с применением соотношения бутилового ксантогената натрия и меркаптана 1:2

Название продуктов	Выход, %	Содержание, % и г/т					Извлечение, % и г/т					Условия опытов
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	
Коллектив.конц.	3,58	3,61	2,9	7,17	14,54	28,4	92,44	73,01	84,20	27,47	88,20	БКс : М -1:2 – 100 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	16,8	0,023	0,08	0,062	1,766	0,24	2,76	9,45	3,42	15,66	3,50	
2 перечистка	3,62	0,068	0,086	0,119	2,331	0,34	1,76	2,19	1,41	4,45	1,07	
Конц. контр.	3,68	0,076	0,102	0,3	2,129	0,3	2,00	2,64	3,62	4,13	0,96	
Отв. хвосты	72,32	0,002	0,025	0,031	1,265	0,1	1,03	12,71	7,35	48,28	6,27	
Исходная руда	100	0,14	0,14	0,30	1,89	1,15	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	3,5	3,64	3,461	8,322	13,166	30,3	90,16	80,40	84,36	24,73	86,40	
1 перечистка	14,96	0,034	0,081	0,07	2,033	0,42	3,60	8,04	3,03	16,32	5,12	
2 перечистка	4,34	0,085	0,109	0,15	2,367	0,56	2,61	3,14	1,89	5,51	1,98	
Конц. контр.	3,34	0,043	0,092	0,18	3,66	0,62	1,02	2,04	1,74	6,56	1,69	
Отв. хвосты	73,86	0,005	0,013	0,042	1,183	0,08	2,61	6,37	8,98	46,88	4,81	
Исходная руда	100	0,14	0,15	0,35	1,86	1,23	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4,96	3	2,1	5,53	11,57	25,6	90,13	70,14	81,20	31,69	87,90	БКс : М -1:2 – 140 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	18,96	0,028	0,07	0,06	1,702	0,38	3,22	8,94	3,37	17,82	4,99	
2 перечистка	6,82	0,06	0,065	0,103	2,146	0,36	2,48	2,99	2,08	8,08	1,70	
Конц. контр.	2,98	0,058	0,093	0,045	2,146	0,4	1,05	1,87	0,40	3,53	0,83	
Отв. хвосты	66,28	0,0078	0,036	0,066	1,062	0,1	3,13	16,07	12,95	38,87	4,59	
Исходная руда	100	0,17	0,15	0,34	1,81	1,44	100	100	100	100	100	

Таблица 10 - Результаты флотации сульфидной руды с применением соотношения бутилового ксантогената натрия и меркаптана 1:3

Название продуктов	Выход, %	Содержание, % и г/т					Извлечение, % и г/т					Условия опытов
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	
Коллектив.конц.	5,82	2,743	1,695	5,707	7,915	26,3	90,13	78,40	80,79	25,22	87,33	БКс : М -1:3 – 100 г/т Аэр. – 120 г/т T-80 – 40 г/т
1 перечистка	16,42	0,035	0,059	0,066	1,552	0,5	3,24	7,70	2,64	13,95	4,68	
2 перечистка	5,6	0,059	0,129	0,098	1,997	1,2	1,87	5,74	1,33	6,12	3,83	
Конц. контр.	3,42	0,106	0,079	0,344	3,18	0,52	2,05	2,15	2,86	5,96	1,01	
Отв. хвосты	68,74	0,007	0,011	0,074	1,295	0,08	2,72	6,01	12,37	48,74	3,14	
Исходная руда	100	0,18	0,13	0,41	1,83	1,75	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4,66	3,53	2,8	7,6	7,985	27,2	90,20	78,44	90,02	15,52	87,47	
1 перечистка	17,32	0,031	0,113	0,072	1,812	0,48	2,94	11,77	3,17	13,09	5,74	
2 перечистка	6,2	0,06	0,097	0,062	3,594	0,65	2,04	3,62	0,98	9,29	2,78	
Конц. контр.	3,76	0,089	0,056	0,248	2,784	0,46	1,83	1,27	2,37	4,37	1,19	
Отв. хвосты	68,06	0,008	0,012	0,02	2,034	0,06	2,99	4,91	3,46	57,73	2,82	
Исходная руда	100	0,18	0,17	0,39	2,40	1,45	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4,86	3,056	2,3	5,53	8,305	25,2	88,21	76,46	81,52	17,45	84,43	БКс : М -1:3 – 140 г/т Аэр. – 120 г/т T-80 – 40 г/т
1 перечистка	18,3	0,045	0,089	0,085	2,3	0,458	4,89	11,14	4,72	18,19	5,78	
2 перечистка	5	0,095	0,116	0,153	3,435	1,154	2,82	3,97	2,32	7,42	3,98	
Конц. контр.	3,46	0,06	0,119	0,537	3,286	0,798	1,23	2,82	5,64	4,91	1,90	
Отв. хвосты	68,38	0,007	0,012	0,028	1,76	0,083	2,84	5,61	5,81	52,02	3,91	
Исходная руда	100	0,17	0,15	0,33	2,31	1,45	100	100	100	100	100	

2.10 Усовершенствование технологии флотационного обогащения упорной сульфидной руды с применением сульфидильных меркаптансодержащих собирателей

Проведена отработка усовершенствованного реагентного режима флотации труднообогатимой полиметаллической упорной сульфидной руды Риддер-Сокольского месторождения с применением меркаптансодержащего собирателя.

Меркаптансодержащие собиратели могут содержать микроэмulsionные пузырьки серосодержащих органических соединений нефтяной природы. Это существенно повысит эффективность флотации сульфидных минералов меди, свинца, цинка и золота.

Ранее нами установлено, что оптимальным вариантом для получения меркаптан-содержащего собирателя является смесь реагентов: меркаптан : бутиловый ксантогенат = 1:1 и 1:2. Данное соотношение было взято за основу при формировании смесей. В качестве объекта исследования на данном этапе выбрана смесь исходной нефти, серосодержащего продукта и ксантогената, полученного в процессе очистки нефти. Сумма исходной нефти и меркаптана составляла 1. Изменяли содержание бутилового ксантогената.

Меркаптансодержащий собиратель получили на основе смеси нефть : меркаптан : ксантогенат при соотношении 0,8:0,2:1. Результаты исследований приведены в таблице 11. Расход меркаптан-содержащего собирателя варьировался от 100 до 140 г/т. В результате исследований показано, что с применением меркаптансодержащего собирателя при соотношении 0,8:0,2:1 было получено:

- при расходе 100 г/т – черновой коллективной концентрат с содержанием меди 2,8 % при извлечении 91,86 %, свинца 2,6 % при извлечении 81,31 %, цинка 5,85 % при извлечении 89,04 % и золота 22,12 г/т при извлечении 87,76 %;

- при расходе 120 г/т – черновой коллективной концентрат с содержанием меди 3,34 % при извлечении 91,15 %, свинца 2,59 при извлечении 75,77 %, цинка 6,32 % при извлечении 85,07 % и золота 26,2 г/т при извлечении 87,86 %;

- при расходе 140 г/т – черновой коллективной концентрат с содержанием меди 2,81 % при извлечении 91,87 %, свинца 2,94 % при извлечении 77,95 %, цинка 5,68 % при извлечении 83,51 % и золота 21,0 г/т при извлечении 83,39 %.

Анализ полученных данных свидетельствует, что с применением меркаптансодержащего собирателя, при оптимальном расходе 100 г/т, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, извлечение меди в черновом коллективном концентрате повышается на 3,76 % (с 88,10 до 91,86 %); свинца на 7,38 % (с 73,93 до 81,31 %); цинка на 6,16 % (с 82,88 до 89,04 %) и золота на 4,96 % (с 82,80 до 87,76 %); содержание меди, свинца, цинка и золота в

черновом коллективном концентрате остается на том же уровне, но при этом расход реагента уменьшается на 60 г/т.

Таблица 11 - Результаты флотации сульфидной руды с применением композиции с соотношением исходная нефть: меркаптансодержащий продукт : ксантогенат = 0,8:0,2:1.

Название продуктов	Выход, %	Содержание, % и г/т					Извлечение, % и г/т					Условия опытов
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	
Коллектив.конц.	6	2,8	2,64	5,85	9,798	22,12	91,86	81,31	89,04	28,37	87,76	Н: М: БКс - 0,8:0,2:1. – 100 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	20,21	0,031	0,068	0,102	1,985	0,24	3,43	7,05	5,23	19,36	3,21	
2 перечистка	6,68	0,062	0,089	0,019	2,31	0,58	2,26	3,05	0,32	7,45	2,56	
Конц. контр.	3,9	0,05	0,056	0,45	2,703	0,24	1,07	1,12	4,45	5,09	0,62	
Отв. хвосты	63,21	0,004	0,023	0,006	1,303	0,14	1,38	7,46	0,96	39,74	5,85	
Исходная руда	100	0,18	0,19	0,39	2,07	1,51	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	5	3,34	2,598	6,32	9,343	26,2	91,15	75,57	85,07	21,73	87,86	
1 перечистка	17,62	0,042	0,081	0,068	1,823	0,26	4,04	8,30	3,23	14,94	3,07	
2 перечистка	8,52	0,063	0,123	0,102	2,703	0,49	2,93	6,10	2,34	10,71	2,80	
Конц. контр.	3,86	0,039	0,093	0,312	2,995	0,57	0,82	2,09	3,24	5,38	1,48	
Отв. хвосты	65	0,003	0,021	0,035	1,563	0,11	1,06	7,94	6,12	47,25	4,80	
Исходная руда	100	0,18	0,17	0,37	2,15	1,49	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	5,4	2,81	2,94	5,68	6,753	21	91,87	77,95	83,51	18,42	83,39	Н: М: БКс - 0,8:0,2:1. – 140 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	18,2	0,031	0,063	0,076	2,05	0,46	3,42	5,63	3,77	18,85	6,16	
2 перечистка	6,92	0,068	0,12	0,11	2,345	0,58	2,85	4,08	2,07	8,20	2,95	
Конц. контр.	3,82	0,029	0,108	0,302	4,168	0,61	0,67	2,03	3,14	8,04	1,71	
Отв. хвосты	65,66	0,003	0,032	0,042	1,402	0,12	1,19	10,32	7,51	46,50	5,79	
Исходная руда	100	0,17	0,20	0,37	1,98	1,36	100	100	100	100	100	

Таблица 12 – Сравнительные результаты флотации сульфидной руды с применением меркаптансодержащего собирателя

Название продуктов	Выход, %	Содержание, % и г/т					Извлечение, % и г/т					Условия опытов
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Коллектив.конц.	5,6	2,213	2,1	4,92	10,79	21,1	88,10	73,93	82,88	27,85	82,80	Базовый режим БКс – 160 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	17,04	0,028	0,068	0,056	1,432	0,33	3,39	7,28	2,87	11,25	3,94	
2 перечистка	4,1	0,067	0,137	0,122	1,604	0,93	1,95	3,53	1,50	3,03	2,67	
Конц. контр.	6,82	0,028	0,083	0,395	0,894	0,56	1,36	3,56	8,10	2,81	2,68	
Отв. хвосты	66,45	0,011	0,028	0,023	1,798	0,17	5,20	11,70	4,64	55,06	7,92	
Исходная руда	100	0,14	0,16	0,33	2,17	1,43	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	4	3,45	2,79	7,04	12,97	27,1	90,15	70,14	81,21	29,78	90,67	БКс : М -1:1 – 120 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	17,4	0,033	0,061	0,051	1,491	0,086	3,75	6,67	2,56	14,89	1,25	
2 перечистка	5,06	0,064	0,102	0,108	2,018	0,182	2,12	3,24	1,58	5,86	0,77	
Конц. контр.	4,94	0,04	0,087	0,459	2,386	0,38	1,29	2,70	6,54	6,77	1,57	
Отв. хвосты	68,6	0,006	0,04	0,041	1,084	0,1	2,69	17,25	8,11	42,69	5,74	
Исходная руда	100	0,15	0,16	0,35	1,74	1,20	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	3,5	3,64	3,461	8,322	13,166	30,3	90,16	80,40	84,36	24,73	86,40	БКс : М -1:2 – 120 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	14,96	0,034	0,081	0,07	2,033	0,42	3,60	8,04	3,03	16,32	5,12	
2 перечистка	4,34	0,085	0,109	0,15	2,367	0,56	2,61	3,14	1,89	5,51	1,98	
Конц. контр.	3,34	0,043	0,092	0,18	3,66	0,62	1,02	2,04	1,74	6,56	1,69	
Отв. хвосты	73,86	0,005	0,013	0,042	1,183	0,08	2,61	6,37	8,98	46,88	4,81	
Исходная руда	100	0,14	0,15	0,35	1,86	1,23	100	100	100	100	100	

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Коллектив.конц.	4,66	3,53	2,8	7,6	7,985	27,2	90,20	78,44	90,02	15,52	87,47	БКс : М -1:3 – 120 г/т Аэр. – 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	17,32	0,031	0,113	0,072	1,812	0,48	2,94	11,77	3,17	13,09	5,74	
2 перечистка	6,2	0,06	0,097	0,062	3,594	0,65	2,04	3,62	0,98	9,29	2,78	
Конц. контр.	3,76	0,089	0,056	0,248	2,784	0,46	1,83	1,27	2,37	4,37	1,19	
Отв. хвосты	68,06	0,008	0,012	0,02	2,034	0,06	2,99	4,91	3,46	57,73	2,82	
Исходная руда	100	0,18	0,17	0,39	2,40	1,45	100	100	100	100	100	
Коллектив.конц.	5	3,34	2,598	6,32	9,343	26,2	91,15	75,57	85,07	21,73	87,86	Н: М: БКс - 0,8:0,2:1. – 120 г/т Аэроф.– 120 г/т Т-80 – 40 г/т
1 перечистка	17,62	0,042	0,081	0,068	1,823	0,26	4,04	8,30	3,23	14,94	3,07	
2 перечистка	8,52	0,063	0,123	0,102	2,703	0,49	2,93	6,10	2,34	10,71	2,80	
Конц. контр.	3,86	0,039	0,093	0,312	2,995	0,57	0,82	2,09	3,24	5,38	1,48	
Отв. хвосты	65	0,003	0,021	0,035	1,563	0,11	1,06	7,94	6,12	47,25	4,80	
Исходная руда	100	0,18	0,17	0,37	2,15	1,49	100	100	100	100	100	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации были достигнуты поставленные цели и успешно решены следующие задачи:

1 Изучен вещественный состав полиметаллической руды Риддер-Сокольного месторождения. По результатам рентгено-флуоресцентного анализа в исходной пробе руды содержится 53,078 % кислорода, 32,217 % кварца, 1,61 % железа, 0,139 % меди, 0,276 % цинка, 0,123 % свинца, 0,7 % барита. По результатам рентгено-фазового анализа в пробе содержится 71,9 % кварца SiO_2 , 22,2 % мусковита $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, 5,9 % клинохлора $(\text{Mg},\text{Fe})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Приведенные результаты фазового анализа относятся к кристаллической части исследуемого образца. По данным минералогического анализа в руде содержатся следующие рудные минералы. Пирит в виде неправильных зерен, редко пентагондодекаэдр, размер зерен составляет 0,1 мм. Халькопирит обладает высокой отражательной способностью и имеет едва заметную анизотропию. Наблюдается в виде ангедральной формы с извилистыми ограничениями. Размер зерен составляет 0,09 мм. Галенит, отмечаются треугольники выкрашивания, форма неправильная, размер зерен составляет 0,125 мм. Сфалерит, ангедральной формы без четких ограничений, размер зерен составляет 0,1 мм.

2 Проведен гранулометрический анализ который показал, что большая часть полезных компонентов от 69,38 до 99,16 % сосредоточена в классах от -0,5+0,2 мм до -0,071+0,04 мм, руда относится к упорным рудам. Химический анализ показал, что в исследуемой пробе исходной сульфидной руды содержится 0,18 % свинца, 0,35 % цинка, 0,12 % меди, 2,03 % железа, 1,36 - 1,4 г/т золота и 3,43 г/т серебра.

3 Отработан реагентный режим флотации упорной сульфидной руды Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов. Определен оптимальный режим измельчения - 70 % класса -0,071 мм. В качестве базового реагента, в основную коллективную флотацию подавали регулятор среды известь, для создания $\text{pH} = 8,5-9$, жидкое стекло для депрессии пирита и пустой породы, собиратель бутиловый ксантогенат натрия и аэрофлот, пенообразователь Т-80. В контрольную коллективную флотацию подавали собиратель и вспениватель, в перечистки жидкое стекло для депрессии пустой породы. В оптимальном базовом режиме (расход бутилового ксантогената 130 г/т) получен коллективный концентрат с содержанием меди 2,37 %, свинца 2,0 %, цинка 4,92 %, железа 9,74 %, золота 22,06 г/т. Извлечение в коллективный концентрат составило: меди 90,18 %, свинца 79,26 %, цинка 88,96 %, железа 39,22 %, золота 86,64 %.

4 Отработан реагентный режим флотации упорной сульфидной руды с применением меркаптансодержащего собирателя при соотношении 1:2, при оптимальном расходе 120 г/т, по сравнению с бутиловым ксантогенатом натрия, извлечение меди в коллективном концентрате повышается на 2,06 % (с 88,10 до 90,16 %); свинца на 6,5 % (с 73,93 до 80,40 %); цинка на 1,48 % (с 82,88 до 84,36 %) и золота на 3,6 % (с 82,80 до 86,40 %); содержание меди в

черновом коллективном концентрате увеличивается на 1,42 % (с 2,213 до 3,64 %), свинца на 1,36 % (с 2,1 до 3,46 %); цинка на 3,4 % (с 4,92 до 8,32 %) и золота на 9,2 г/т (с 21,1 до 30,3 г/т) при этом расход реагента уменьшается на 40 г/т.

5 Достигнуты высокие технологические показатели с применением меркаптансодержащего собирателя (0,8:0,2:1), при оптимальном расходе 100 г/т, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, извлечение меди в черновом коллективном концентрате повышается на 3,76 % (с 88,10 до 91,86 %); свинца на 7,38 % (с 73,93 до 81,31 %); цинка на 6,16 % (с 82,88 до 89,04 %) и золота на 4,96 % (с 82,80 до 87,76 %). Расход реагента уменьшается на 60 г/т.

Оценка полноты решений поставленных задач.

Исследование выполнено в полном объеме: от минералогического анализа до оптимизации реагентного режима. Результаты подтвердили гипотезу о синергетическом эффекте меркаптансодержащих собирателей при переработке упорного сульфидного сырья.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию полученных результатов.

Разработанная технологическая схема и режим применения меркаптансодержащих собирателей применимы для переработки труднообогатимых сульфидных руд с тонкой вкрапленностью ценных компонентов и руд других схожих месторождений Казахстана.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения.

Оценка эффективности внедрения высокая, так как использование отечественных меркаптансодержащих реагентов позволяет снизить удельные затраты на закупку химии (расход ниже на 46%) и повысить извлечение металлов. Точные экономические показатели будут рассчитаны на стадии промышленного проектирования.

Оценка научно-технического уровня.

Работа представляет собой завершенное научное исследование, соответствующее современным требованиям в области обогащения полезных ископаемых. Использование новых комбинаций собирателей для упорных руд является инновационным решением задачи импортозамещения и повышения эффективности недропользования в РК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Mitrofanov S.M., Kuzkin A.S. Theoretical and practical aspects to combine collectors and frothers for sulfide floatation // Non-ferrous metals – 1993. - №12. С.52-56.
- 2 Жереб В.П., Самойлов В.Г., Тимошнеко Л.И., Маркосян С.М. Реагенты - интенсификаторы при флотационном обогащении сульфидных медно-никелевых руд // Сборник научных трудов, Обогащение руд. – 1994. - С.106-111.
- 3 Глембоцкий В.А. Проблемы использования аполярных коллекторов при флотации // Цветные металлы. – 1983. - № 8. – С.96-98.
- 4 Бочаров В.А., Игнаткина В.А. Технология обогащения полезных ископаемых. В 2 т. М.: Руда и металлы, 2007. 880 с.
- 5 Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. Учеб.пособ, М., 2008. -707 с.
- 6 Васев В.И., Федяев Ф.Ф., Рубан Г.А. Уточнение механизма действия аполярных собирателей. // Изв.вузов. Цветная металлургия. 1989. - № 1. - С.17-20.
- 7 Тусупбаев Н.К. Физико-химические основы создания и применения новых реагентов для интенсификации флотационных процессов обогащения сульфидных полиметаллических руд. / автореферат дис. д.т.н.: 25.00.13./ Алматы, 2010.- 63 с. <https://e-catalog.nlb.by/Record/BY-NLB-br0000606027>
- 8 Кузина З.П. Интенсификация флотации свинцово-цинковых руд с применением гетероорганических соединений нефти в качестве дополнительного собирателя: дис. к.т.н. 05.15.08 /Красноярск, 1999. – 152 с.
- 9 Мин Р.С., Кузина З.П., Савинова И.А., Пашков Г.Л., Анциферова С.А., Рогожинский Е.Н. Композиции для флотации сульфидных руд. // Патент на изобретение РУ № 2038857 от 24.02.1992.
- 10 Кузина З.П., Малыхин Д.В., Елизаров Р.Г., Малыхин Д.В., Ковалев Н.Б. Способ флотационного обогащения золото-углеродсодержащих руд. // Патент на изобретение РУ № 2630073 от 05.09.2017. бюл.25.
- 11 Матвеева Т.Н., Громова Н.К. Особенности действия меркаптобензотиазола и дитиофосфата при флотации аи - и рт -содержащих минералов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №12. – Т 14. - С.62 – 71.
- 12 Ливанский А.Н., Кудряшов Б.А., Титков В.Д., Дунин А.Ю. Ультразвуковое эмульгирование нефти и нефтепродуктов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтеной промышленности. – 2011. - №11. – С. 28-32.
- 13 Муханова А.А. Исследование возможности селекции медно-молибденового концентрата с применением модифицированных флотореагентов // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - 2017. - № 3. - С. 29 – 33. https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=53375 DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557

14 Mukhanova A.A, Yessengaziyev A.M., Barmenshinova M.B., Samenova N.O., Toilanbay G.A., Toktagulova K.N. Improvement of the technology related gold-containing raw materials with the use of ultramicroheterogeneous flotoreagent. / Metalurgija. – 2022.- 61(3 -4). - PP. 777–780. <https://hrcak.srce.hr/262425> (процентиль 35%).

15 Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа // Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем. – 2002. – 672 с.

16 Bradshaw D.J.; O'Connor C.T. The flotation of pyrite using mixtures of dithiocarbamates and other thiol collectors // Minerals Engineering. - Vol. 7, No. 5-6. – 1994. - P.681-690.

17 Анциферова С.А., Самойлов В.Г., Мин Р.С., Суворова О.Н. Влияние сернисто-ароматического концентрата нефти на технологические показатели флотации при обогащении золотосодержащей руды // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – №.4. – С. 181-188.

18 Antsiferova S. A., Samoilova V. G., Minb R. S and Suvorovaa O. N. Effect of Sulfide and Petroleum Aromatic Concentrates on Gold Ore Processing by Flotation // Journal of Mining Science. – Vol. 48. – 2012. – P.754-759.

19 Морозов В. В., Лезова С. П. Применение комбинированных собирателей на основе нефтепродуктов для пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 137–146. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-137-146.

20 Li M.K., Fogler H.S. Acoustic emulsification – The instability of the oil-water interface to form the initial droplets // Journal of Fluid Mechanics. - Vol. 88. – No. 3. - P. 499 – 511.

21 Электронный ресурс: Риддер-Сокольное месторождение — [wiki.web.ru](https://profspo.ru/books/110056). Материал из GeoWiki - URL: <https://profspo.ru/books/110056>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список опубликованных работ

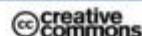
1 Kenzhaliyev BK, Mukhanova AA, Samenova NO, Toktagulova KN, Kaldybaeva JA, Turysbekov DK, Yussupova SZh. Study of the dispersing properties of microemulsion mercaptan-containing collectors based on oil products. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources.2026; 337(2):85-94. <https://doi.org/10.31643/2026/6445.20>

2 Патент №11261. Кенжалиев Б.К., Муханова А.А., Саменова Н.О., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М., Юсупова С.Ж. Способ обогащения полиметаллических сульфидных руд // Заявление о выдаче патента на полезную модель №2025/1176.2 от 07.08.25г.



DOI: 10.31643/2026/6445.20

Metallurgy



Study of the dispersing properties of microemulsion mercaptan-containing collectors based on oil products

¹Kenzhaliyev B.K., ¹Mukhanova A.A., ¹Samanova N.O., ²Toktagulova K.N.,
¹Kaldybaeva J.A., ¹Turysbekov D.K., ¹Yussupova S.Zh.

¹ Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² JSC CNPC Aktobemunaigas, Aktobe, Kazakhstan

* Corresponding author email: a.mukhanova@satbayev.university

ABSTRACT

The article discusses the production of flotation reagents based on domestic sulfur-containing oil products using the ultrasonic cavitation method. Particular attention is paid to the selection of oil products based on the analysis of their qualitative and quantitative composition. Mercaptans (thioalcohols) are known to be the most effective sulfhydryl collectors. This study utilizes sulfur-containing oil products with the same sulfur content but differing in the form of sulfur presence in the starting materials: refined oil, mercaptan-containing product, and an intermediate product obtained during oil demercaptanization. Compositions were developed using these oil products and butyl xanthate. During ultrasonic cavitation, the dependence of emulsion stability over time on ultrasonic power and component ratios was determined. Optimal conditions for ultrasonic cavitation and the appropriate proportions of components in the compositions were established. Despite having the same sulfur content, it was found that only sulfur-containing products with specific structural characteristics are suitable for flotation reagent production. Additionally, ultrasonic cavitation's role in modifying the compositions' properties was identified, significantly influencing their efficiency as collectors.

Keywords: refined oil, mercaptan-containing product, butyl xanthate.

Information about authors:

Kenzhaliyev Bagdaulet Kenzhaliyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director-Chairman of the Management Board of the Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Shevchenko str., 29/133, 050010, Almaty, Kazakhstan. Email: bagdaulet_k@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>

Mukhanova Aynur Aitkazinovna

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Flotation Reagents and Enrichment, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Shevchenko str., 29/133, 050010, Almaty, Kazakhstan. Email: a.mukhanova@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2130-683X>

Samanova Nazira Orakkyzy

Researcher, Laboratory of Flotation Reagents and Beneficiation, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Shevchenko str., 29/133, 050010, Almaty, Kazakhstan. Email: nazira.orakkyzy@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3027-5246>

Toktagulova Kamshat Nadirovna

Engineer chemist of 2 categories of the CNPC Aktobemunaigas JSC, Aktobe, Kazakhstan. Email: nadirovna_k@mail.ru

**Kaldybaeva Zhamilyan
Abdilbekova**

Junior Researcher, Laboratory of Flotation Reagents and Beneficiation, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Shevchenko str., 29/133, 050010, Almaty, Kazakhstan. Email: zh.kaldybaeva@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0001-5763-9655>

Turysbekov Dulatbek Kadyrbekuly

Candidate of Technical Sciences, Leading research of the laboratory of flotation reagents and Ore Beneficiation, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Shevchenko str., 29/133, 050010, Almaty, Kazakhstan. Email: d.turysbekov@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0904-1565>

Yussupova Saniya Zhabborovna

Engineer of the Laboratory of Flotation Reagents and Beneficiation, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Shevchenko str., 29/133, 050010, Almaty, Kazakhstan. Email: Saniya.yusupova02@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-1728-3418>

Introduction

Flotation reagents play a key role in the flotation process, determining its efficiency and future development prospects. The success of flotation largely depends on their proper selection and economically justified application. One of the key

characteristics of flotation reagents is their selective influence on phase boundaries, particularly on the surface of various minerals, due to the conditions created in the aqueous pulp medium. Of particular interest is the combined use of ionic and apolar collectors, which demonstrate high flotation efficiency [[1], [2], [3]].

In recent years, research by domestic scientists has intensified interest in the use of heteroorganic oil compounds for the beneficiation of polymetallic ores. Technologies are actively being developed to extract sulfur-containing compounds from oil products, including mercaptans, sulfides, and thiophenes, with the latter accounting for 80–95% of the total. It has been established that oil sulfides are predominantly represented by cyclic compounds, homologs of alkyl-substituted thiophenes, and thiocycloalkanes. As the boiling point of oil fractions increases, the proportion of condensed monocyclic sulfides decreases, while that of polycyclic sulfides rises. These compounds exhibit high surface activity, making them promising apolar reagents that do not require additional surfactants.

Studies by V. A. Glembotsky, L. Ya. Shubov, V. A. Esepkin, S. I. Chernykh, and others have shown that the most effective apolar reagents contain aromatic hydrocarbons and their homologs. These findings highlight the need for a more in-depth investigation of such compounds as flotation reagents.

This study aims to evaluate the potential use of sulfur-rich oil concentrates containing aromatic and heteroatomic compounds as selective apolar collectors. These substances remain insufficiently studied in the context of ore flotation [4].

Many collectors possess a complex heteropolar molecular structure, incorporating both polar and apolar fragments. The polar part of the molecule interacts with water, while the apolar part, represented by a hydrocarbon radical, exhibits hydrophobic properties. During adsorption on the mineral surface, the polar part of the molecule attaches to the mineral, while the apolar part extends into the aqueous phase, facilitating hydrophobization and subsequent flotation of the mineral [5].

The selective properties of collectors depend on their chemical composition and molecular structure. They are classified based on their interaction mechanism with minerals, their degree of dissociation into ions, and the type of ion responsible for the hydrophobizing effect (anion or cation). Collectors are generally divided into three main groups (Figure 1):

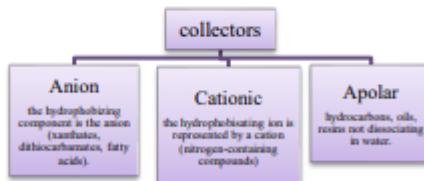


Figure 1 - A main group of collectors

One of the key directions for improving flotation efficiency is the development of new sulfur- and phosphorus-containing reagents that ensure high performance while reducing consumption.

In Kazakhstan, the production of flotation reagents, particularly collectors and foaming agents, is limited. Imported reagents are often expensive, of inconsistent quality, and have restricted applicability to different ore types. This situation necessitates the development of domestically produced flotation reagents from local raw materials, as well as the optimization of reagent regimes for their effective use in beneficiation processes [6].

According to the literature, xanthates, dithiophosphates, dixanthates, and their mixtures are widely used as collectors. For instance, butyl xanthate is the primary reagent in Russia, while amyl xanthate is more commonly used abroad [7], [8], [9]. It has been established that an increase in the hydrocarbon radical enhances the reactivity and oxidizability of xanthates [10].

For selective flotation, weak collectors such as aeroflots, or their combinations with xanthates, are recommended. The research of A. Abramov focuses on the development of new selective collecting reagents to improve the flotation efficiency of non-ferrous metals [11].

Flotation reagents used in mineral processing can be derived from crude oil. Crude oil contains not only water and salts but also a wide range of organic compounds, including sulfur-containing components, which are of particular interest for flotation. Compounds such as mercaptans, sulfides, and thiophenes have the potential to serve as effective collector reagents with selective effects on minerals.

The extraction of such compounds can be integrated into the early stages of oil processing, particularly during the breakdown of stable water-in-oil emulsions. This process offers a dual advantage: on one hand, the removal of these compounds enhances oil quality and reduces corrosiveness caused by sulfur-containing components; on the other, the recovered compounds can be utilized in the synthesis of innovative flotation reagents, which is especially valuable for polymetallic ore beneficiation [12], [13], [14].

Thus, the development of technologies for extracting sulfur-containing components from oil presents both environmental and industrial benefits. Environmentally, it improves oil properties and reduces pollution; industrially, it enables the

creation of cost-effective and highly efficient flotation reagents from local raw materials.

The presented data confirm that advancing the composition of sulfur-containing reagents used as flotation collectors is a dynamic area of research. However, the challenge of selecting suitable initial components and optimizing their compositions for effective flotation of refractory ores remains unresolved. This is because reagent efficiency is directly influenced by the qualitative and quantitative composition of the raw material, as well as its structural characteristics, necessitating an individualized approach in each specific case [15].

Additionally, with the declining quality of raw materials and increasing flotation reagent consumption, reducing costs becomes essential. In this context, the synthesis of flotation reagents from inexpensive domestic raw materials, such as sulfur-containing oil products, is of particular importance, offering opportunities for the development of more economical and efficient flotation technologies [16].

Experimental part

For this study, three samples of oil and oil products from the Kenkiyak deposit, provided by Aktobeoilgas, were selected. The samples included dehydrated oil, purified oil, mercaptan-containing products, and a byproduct obtained during oil demercaptanization.

At this stage of the research, the focus was on the raw oil from the Kenkiyak deposit and oil that had undergone the first stage of treatment. The physical and chemical characteristics, as well as the composition of oil with a water content of up to 30%, are presented in Table 1.

Table 1 - Physical and chemical characteristics of oil in the Kenkiyak deposits

Description of indicators	Averaged values
Viscosity, MPa × °C, at 200 °C - 500 °C	4.13 – 2.18
Density, g/cm ³	0.8259
Asphaltene, %	0.4
Paraffin, %	3.3
Pour point, °S	8.70 ~ 14.0
Mass fraction of sulfur, %	0.70 ~ 1.21

The data presented in Table 1 indicate that the composition of the source oil is characterized by a sulfur content exceeding 1%. Sulfur is present in the form of both hydrogen sulfide and mercaptans. To effectively remove stable sulfur-containing

compounds, a second purification stage is employed, utilizing specialized reagents—absorbers. This method is currently the most effective for reducing sulfur-containing components such as hydrogen sulfide and mercaptans in oil.

This study examined oil after the first and second refining stages. The first stage of oil treatment, based on existing technology, includes heating followed by electrostatic dehydration. This process relies on the destruction of petroleum emulsions through a thermochemical method combined with exposure to a high-voltage electric field.

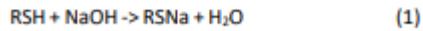
The thermochemical method involves preheating the oil to a temperature of 48–50 °C with the addition of a demulsifier. As the temperature rises, the oil's viscosity decreases, facilitating better mixing of the emulsion with the demulsifier and enhancing the separation of oil and water. An essential condition for effective separation is the residence time of the emulsion in the apparatus. The demulsifier penetrates the surface layer of water droplets in the oil, breaking the protective coating composed of asphaltenes, resins, and paraffins. This process promotes the coalescence (fusion) of water droplets. The degree of dehydration achieved through thermochemical treatment ranges from 80% to 90% [17].

More stable water-in-oil emulsions are disrupted using a high-voltage electric field of 20–25 kV at an industrial frequency of 50 Hz in an electric dehydrator. Under the influence of an alternating electric field, dispersed water droplets in the oil coalesce, merging with other droplets and increasing in size. The enlarged water droplets settle in the intermediate layer below the lower electrode before passing into the drainage water layer.

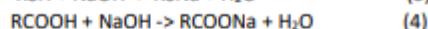
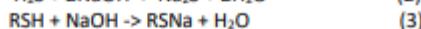
When subjected to an electric field between two horizontally positioned lattice electrodes, the protective shell of the water emulsion droplets breaks down. As a result, water and the dissolved salts it contains separate from the oil due to differences in density and accumulate at the bottom of the electric dehydrator. Dissolved mineral salts are also removed from the oil along with the separated water [18].

Mercaptans can be considered hydrogen sulfide derivatives in which one hydrogen atom is replaced by a hydrocarbon radical. Their general formula is RSH.

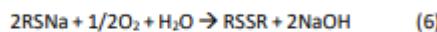
With alkalis, they form mercaptides:



At the first stage of the second stage of purification, a 2-5% solution of alkali NaOH of hydrogen sulfide, naphthenic acids and part of methyl, -ethylmercaptans is selectively extracted from oil by the following reactions:



At the second stage of the second purification stage, there is additional extraction of methyl, - ethyl mercaptans, partial extraction of propyls, -isopropyl mercaptans with alkali solution 6.5-14.3 wt%. If necessary, mercaptides are oxidised into disulphide oil with air oxygen in the presence of a catalyst - cobalt phthalocyanine. The extraction and oxidation of mercaptans occurs according to the reactions:



Reaction (4) shows that the oxidation of RSNa completely regenerates the consumed alkali.

To maintain effective purification, the alkaline solution should never contain a significant amount of unoxidized RSNa. For this reason, the amount of air introduced into the oil must always exceed the stoichiometric air flow rate for complete oxidation RSNa.

Table 2 presents the physical and chemical parameters that oil should have after the first and second stages of the second purification stage.

Table 2 - Physical and chemical parameters of oil after the second stage of treatment

Name products	Value of indicators	
	I oil treatment	II oil treatment
Mass fraction of sulfur, %	no more 0.8	no more 0.6
Density (at 20 °C), kg/m ³	no more 850	no more 850
Fraction yield to temperature, %		
20°C	no more 27	no more 27
30°C	no more 47	no more 47
35°C	no more 57	no more 57
Mass fraction of paraffin, %	no more 6.0	no more 5.0
Mass fraction of hydrogen sulfide, ppm	no more 80	no more 1
Mass fraction of methyl-ethyl mercaptans in total, ppm	no more 100	no more 40
Water mass fraction, %	no more 0.5	no more 0.5
Chloride salt concentration, mg/dm ³	no more 100	no more 90
Mass fraction of mechanical impurities,	no more 0.05	no more 0.05
Saturated vapour pressure, kPa	no more 66.7	no more 66.7 (500)

According to Table 2, the content of hydrogen in oil should not exceed 1 %, and the content of mercaptans - 40 ppm.

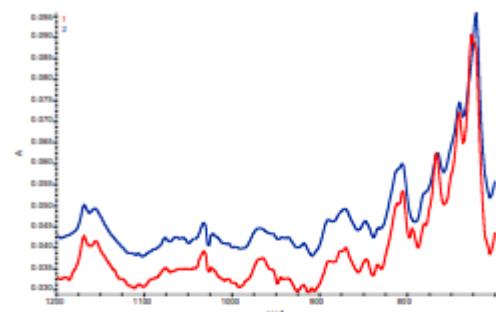


Figure 2 - Comparative figures of IR spectra of oil (Kenkylak deposits) after stages 1 and 2 of treatment.
(1 - the first stage of oil purification,
2 - the second stage of oil purification)

Figure 2 compares the spectra of oil samples after the first and second cleaning stages. A significant difference in spectral profiles is noted, which indicates changes in the ratio of compounds present. The second fraction contains a higher concentration of compounds including S = O groups, as well as sulfur compounds of aromatic and naphthenic structures.

One promising fine dispersion technique is ultrasonic cavitation. This process makes it possible to obtain stable mixtures of substances and significantly accelerate various chemical and mass exchange processes. Ultrasonic dispersion helps to obtain highly dispersed, homogeneous and pure chemical nanosuspensions and nanoemulsions.

In our study, ultrasonic cavitation is considered an advanced technology for dispersing solid materials. This method is highly effective in breaking down solid particles through mechanisms such as shock waves and frictional flows generated by collapsing cavitation bubbles. The dispersion of insoluble components simultaneously facilitates the formation of stable mixtures and enhances chemical processes, enabling the production of nanosuspensions and nanoemulsions with high dispersion and purity.

Additionally, ultrasonic treatment is applied in the pretreatment of crude oil, demonstrating high efficiency in demulsification and dewatering. This method not only improves oil refining quality but also enhances environmental safety by reducing waste volumes. The use of ultrasound in such processes underscores its role as a sustainable and

environmentally friendly approach in modern industrial practices.

To obtain emulsions, oil-based compositions after the first stage of purification were used along with aeroflot and dispersed using the JY99-Ultrasonic Homogenizer. The model used was JY99-IIDN, with an ultrasound power of 1800 W, an operating frequency of 20–25 kHz, and a power supply of 220/110 V, 50/60 Hz.

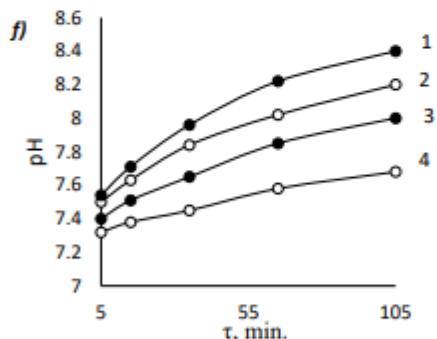
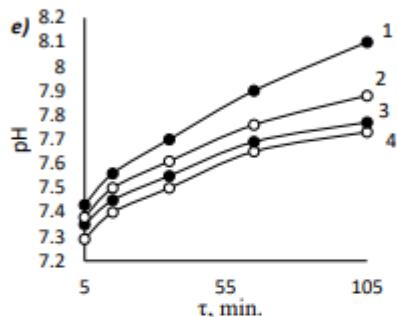
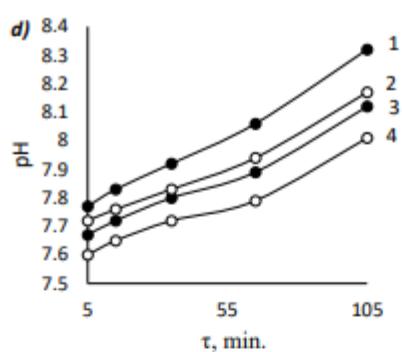
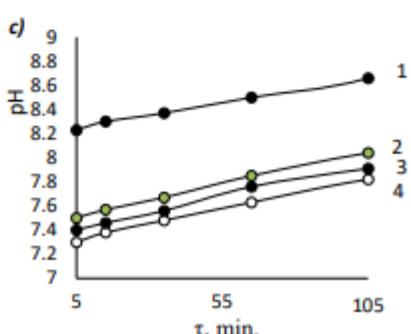
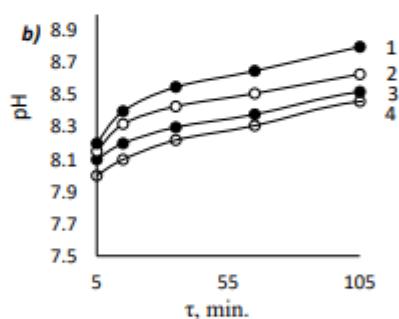
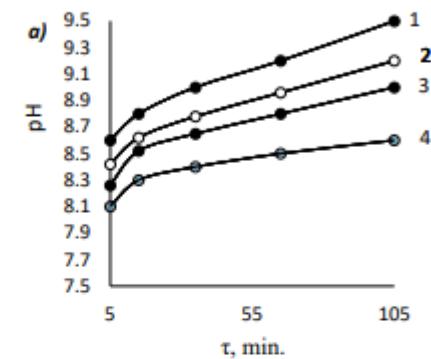


Figure 3 - Change in medium pH over time at different ultrasonic power (1 - 720 W; 2 - 600 W; 3 - 400 W; 4-234 W) for the oil composition after the second stage of purification with butyl xanthate at different ratios a) oil after the 1st stage of purification with BKx-1:1; b) oil after the 1st purification stages with BKx-1:2; c) oil after the 1st purification stages with BKx-1:3; d) oil after 2 stages of treatment with BKx-1:1; e) oil after the 2nd purification stages with BKx-1:2; f) oil after the 2nd purification stages with BKx-1:3;

The emulsification process was carried out using the JY99-Ultrasonic Homogenizer, as illustrated in

Figure 3, following this procedure: 50 ml of distilled water and 0.5 g of the test mixture were placed in a beaker. To evaluate the stability of the resulting microemulsions, three different ratios of oil (after the first purification stage) to butyl xanthate were selected: 1:1, 1:2, and 1:3. A titanium ultrasonic probe in the form of a cone concentrator was immersed in the sleeve, ensuring its tip was positioned in the central part of the liquid volume. The treatment was conducted at an operating frequency of 25 kHz, with adjustable net power in the liquid medium ranging from 234 W to 720 W. The sonication time varied from 5 to 105 minutes, and the temperature of the resulting microemulsion after sonication reached 45–50 °C.

Studies were conducted to determine the optimal sonication conditions for each mixture. The dependence of the pH variation of the emulsion medium overtime on ultrasonic power and the ratio of components (oil after the first purification stage with butyl xanthate) was established (Figure 2). The pH change plays a crucial role in flotation processes, as it influences the chemical state and behavior of reactants in the emulsion. The pH of the medium directly affects the surface charge of particles, altering their ability to adsorb flotation reagents, including butyl xanthate, thereby impacting flotation efficiency.

Ultrasonic treatment can modify the pH by influencing the dissociation of chemical bonds and the distribution of ions in solution, which affects the acid-base properties of the medium and, consequently, the adsorption of reagents and their interaction with minerals. These modifications can significantly impact selectivity and the recovery of valuable components during flotation.

Figure 4 presents the results of pH variation over time during the ultrasonic dispersion of microemulsion collectors, obtained from oil after the first and second purification stages in combination with sulfur-containing components and butyl sodium xanthate. The graphs illustrate the dependence of pH on processing time at different ultrasound power levels (720 W, 600 W, 400 W, and 234 W). The pH tends to increase as dispersion time progresses, with higher ultrasound power contributing to a more significant rise in pH.

The influence of collector composition on pH dynamics is also evident: an increase in the butyl sodium xanthate content (from 1 to 3) leads to a notable shift in the system's acid-base balance.

In further studies, the composition of the compositions was complicated. The collector used

was a mercaptan-containing mixture consisting of oil, a sulphur-containing product and sodium butyl xanthate in ratios of 0.5: 0.5: 0.33; 0.5: 0.5: 0.5 and 0.5: 0.5: 1.0. The results are presented in Figure 3.

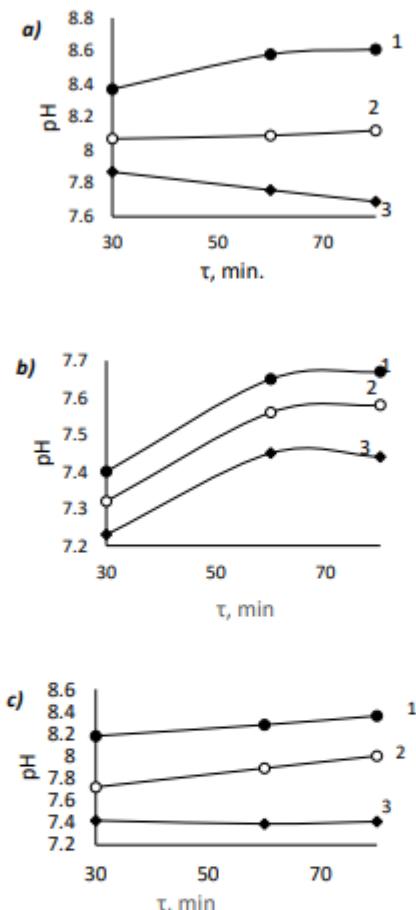


Figure 4 - Change in medium pH over time at different ultrasonic power (1-600 W; 2 - 400 W; 3-234 W) for a mercaptan-containing collector composition consisting of oil, sulfur-containing product and butyl xanthate, with the following ratios: a) 0.5: 0.5: 0.25; b) 0.5: 0.5: 0.5; c) 0.5: 0.5: 1.0.

The particle size measurement of the emulsions was performed using a Photocor Compact analyzer as shown in Table 3. The analyzer operates on the principles of static and dynamic light scattering known as photon correlation spectroscopy. The size of the particles dispersed in the liquid, as well as the molecular weight of the polymers, were determined

by analyzing the correlation function of fluctuations in the intensity of scattered light and its total scattering intensity. Measured sizes range from 1 nm to 100 μ m.

In previous studies, it was found that the use of a composition of oil and xanthate in equal proportions of 1:1 allows to achieve high flotation efficiency [19]. Paper [20] shows the results of experiments to determine the size of the dispersed phase in emulsions with different ratios of oil and xanthate (1:1; 1:2; 1:3) during ultrasonic treatment with different power (234, 400, 600 W) and at different time intervals (35, 65, 105 minutes). Analysis of the data shows that the minimum particle size, 10.73 nm, was observed at a power of 600 W and a treatment time of 65 minutes or more, especially at the ratio of oil to 1:3 xanthate. These results confirm the effectiveness of increasing ultrasound power and processing time to achieve fine particle sizes in predetermined proportions. With an increase in the concentration of xanthate, the size of the microemulsion decreases and its stability increases accordingly. Also, the presence of sulfur compounds in the oil emulsion, which can be natural emulsifiers, most likely has a significant effect on the stability of the microemulsion.

Additional experiments were performed using refined oil, mercaptan-containing product and butyl xanthate in a ratio of 1:1:0.5; 1:1:1 and 1:1:2. The results of these studies are presented in Table 3.

Table 3 shows the results of experiments to determine the size of the dispersed phase in emulsions using refined oil and butyl xanthate in three different proportions (1:1:0.5, 1:1:1, 1:1:2). The emulsions were sonicated at different powers (234, 400 and 600 W) and measured 30, 60 and 80 minutes after the start of the experiments.

It can be seen from Table 3 that with increasing processing time and ultrasonic power, the particle size decreases in most cases. This is especially noticeable in experiments with the proportion of 1:1:2, where the particle size decreased to 6.61 nm with a power of 600 W and a processing time of 60 minutes. This data may indicate that the optimum conditions for achieving the minimum particle size can be achieved with a higher power and processing time. Increasing the power of the exposure process increases cavitation and reduces the size of the dispersed phase of the emulsion.

This leads to the conclusion that it is important to select appropriate processing conditions to obtain emulsions with the desired particle size characteristics, which is important for the practical application of such systems in various processes.

Table 3 - Influence of ultrasonic treatment power and exposure time on disperse phase size in emulsions with different ratios of oil and xanthate

No.	Time to reach, min.	Dispersed phase value, nm			Experimental conditions	
		Power, W				
		234 W	400 W	600 W		
[Refined oil + mercaptan]: butyl xanthate – 1:1:0.5						
1	30	59.71	43.65	31.09	0.5g/0.5g/0.25g	
	60	59.43	18.95	24.81		
	80	61.45	21.97	30.79		
[Refined oil + mercaptan]: butyl xanthate – 1:1:1						
2	30	47.92	21.73	15.63	0.5g/0.5g/0.5g	
	60	41.93	19.8	23.58		
	80	38.6	12.36	25.58		
[Refined oil + mercaptan]: butyl xanthate – 1:1:2						
3	30	28.39	15.79	17.58	0.5g/0.5g/1.0g	
	60	18.95	7.16	6.61		
	80	13.51	7.73	9.63		

Conclusions

Based on the presented data and analysis of the experimental results, it was established that ultrasonic cavitation significantly enhances the efficiency of dispersing and modifying the properties of petroleum products for the production of flotation agents. The application of ultrasound enables control over emulsion stability, improving their characteristics by adjusting exposure power and processing time.

Additionally, the content and chemical form of sulfur in sulfur-containing oil products, particularly mercaptans, have a crucial influence on the properties of collectors. Experiments using refined oil, a mercaptan-containing product, and butyl xanthate in ratios of 1:1:0.5; 1:1:1; and 1:1:2 demonstrated that the 1:1:2 ratio yielded the best results, achieving a particle size reduction to 6.61 nm at 600 W and a treatment time of 60 minutes.

It was also found that ultrasonic cavitation influences not only particle size but also the colloidal properties of the compositions, significantly enhancing their efficiency as collectors. This finding opens up new prospects for the development of advanced mineral processing technologies. These conclusions underscore the importance of innovative approaches in optimizing the production and application of flotation reagents.

Conflicts of interest.

The correspondent author declares that there is no conflict of interest on behalf of all authors.

CRediT author statement: B. Kenzhaliyev: Conceptualization; A. Mukhanova: Conceptualization, Methodology, Software; D. Turysbekov: Methodology; N. Samenova: Data curation, Writing-Original draft

preparation, Software, Validation; Zh. Kaldybaeva, K. Toktagulova, S. Yussupova: Visualization, Investigation.

Acknowledgements. The research was conducted with the financial support of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan No. BR21882140.

Cite this article as: Kenzhaliyev BK, Mukhanova AA, Samenova NO, Toktagulova KN, Kaldybaeva JA, Turysbekov DK, Yussupova SZh. Study of the dispersing properties of microemulsion mercaptan-containing collectors based on oil products. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. 2026; 337(2):85-94. <https://doi.org/10.31643/2026/6445.20>

Мұнай өнімдері негізінде алынған құрамында меркаптан бар микроэмulsionалық жинағыштардың диспергирлеу қасиеттерін зерттеу

¹ Кенжалиев Б.К., ¹ Муханова А.А., ¹ Саменова Н.О., ² Тоқтагулова К.Н.,
¹ Қалдыбаева Ж.А., ¹ Тұрысбеков Д.К., ¹ Юсупова С.Ж.

¹ Металлургия және кен бойыту институты АҚ, Сатбаев университеті, Алматы, Қазақстан
² СНПЗ Ақтөбемұнайгаз АҚ, Ақтөбе, Қазақстан

Мақала келді: 12 ақпан 2025
Саралтамадан етті: 13 ақпан 2025
Кабылданды: 6 наурыз 2025

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада ультрадыбыстық, кавитация адісін қолдана отырып, құрамында күкірті бар отандық мұнай өнімдері негізінде фотореагенттер алу маселесі қарастырылады. Зерттеу барысында мұнай өнімдерінің сапалық және сандық құрамы талданып, олардың негізінде реагенттердің іріктеу ерекше ман берілді. Соңдай-ақ, негұрлым түмді сульфидрильді жинағыштар меркаптандар (тиоспирттер) екені белгілі. Жұмыстың құрамындағы күкірт молшері бірдей, бірақ бастапқы материалдардағы күкірттің химиялық формасы артурул болатын мұнай өнімдері қолданылды. Оларға тараптылған мұнай, құрамында меркаптандар бар өнім, соңдай-ақ, мұнайдың демеркаптанизациялау арқылы алынған аралық өнім жатады. Атаптап мұнай өнімдері мен бүтіл қсантоғенаттың негізінде композициялар жасалды. Ультрадыбыстық, кавитация процесінің асерінен үзүкті еткізу құрамында меркаптандардың тұрақтылығынан өзегері, ультрадыбыстық, кавитация мен композициялардың қатынастасы тауелділік зерттеді. Ультрадыбыстық, кавитация мен композициялардың компоненттердің пропорциясын оңтайлаңдыру шарттары анықталды. Күкірт молшерінің бірдей болуына қарамастан, тек белгілі бір құрлықтың күкіртқұрамды өнімдер ғана фотореагенттер алу үшін жарады ғана асердің далалденді. Соңдай-ақ, композициялардың қасиеттерін модификациялауда ультрадыбыстық, кавитацияның маңызды рөл атқардатыны анықталды. Бул фактор олардың жинағыш реагент ретіндең түйінділігіне айтарлықтай асер етеді.

Түйін сөздер: тараптылған мұнай, құрамында меркаптандар жинағыш, бүтіл қсантоғенат.

Авторлар туралы ақпарат:
Техника ғылымдарының докторы, профессор, Бас-директор - Басқарма төрөгөсі, Металлургия және кен бойыту институты АҚ, Сатбаев университеті, Шевченко көш., 29/133, 050010, Алматы, Қазақстан. Email: bagdaulet_k@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-5246>

Кенжалиев Багдәулет Кенжалиұлы

Техника ғылымдарының кандидаты, Флотациялық реагенттер және кен бойыту зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Металлургия және кен бойыту институты АҚ, Сатбаев университеті, Шевченко көш., 29/133, 050010, Алматы, Қазақстан. Email: a.mukhanova@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3027-5246>

Муханова Айнур Айтқазықызы

Флотациялық реагенттер және кен бойыту зертханасының ғылыми қызметкері, Металлургия және кен бойыту институты АҚ, Сатбаев университеті, Шевченко көш., 29/133, 050010, Алматы, Қазақстан. Email: nazira.orakkyzy@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3027-5246>

Саменова Назира Ораққызы

СНПЗ Ақтөбемұнайгаз АҚ 2-дәрежелі инженер-химик, Ақтөбе, Қазақстан. Email: nadirkova_k@mail.ru

Тоқтагулова Намшат Надірқызы

Флотациялық реагенттер және кен бойыту зертханасының мінші ғылыми қызметкері, Металлургия және кен бойыту институты АҚ, Сатбаев университеті, Шевченко көш., 29/133, 050010, Алматы, Қазақстан. Email: zh.kaldybaeva@satbayev.university; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5763-9655>

<p>Тұрысбеков Дұлатбек Қадырбекұлы</p>	<p>Техника ғылымдарының кандидаты, Флотациялық реагенттер және көн байыту Зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Металлургия және көн байыту институты АҚ, Сатбаяев университеті, Шевченко көш., 29/133, 050010, Алматы, Қазақстан. Email: d.turysbekov@satbayev.university; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0904-1565</p>
<p>Юсупова Саня Жабборқызы</p>	<p>Флотациялық реагенттер және көн байыту Зертханасының инженері, Металлургия және көн байыту институты АҚ, Сатбаяев университеті, Шевченко көш., 29/133, 050010, Алматы, Қазақстан. Email: Sanly.yusupova02@mail.ru; ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-1728-3418</p>

Изучение диспергирующих свойств микроэмulsionных меркаптансодержащих собирателей, полученных на основе нефтепродуктов

¹Кенжалиев Б.К., ¹Муханова А.А., ²Саменова Н.О., ²Токтагулова К.Н.,
¹Калдыбаева Ж.А., ¹Тұрысбеков Д.К., ¹Юсупова С.Ж.

¹АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан

²АО СНПЗ Актобемунайгаз, Актобе, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается получение флотореагентов на основе отечественных серосодержащих нефтепродуктов с применением метода ультразвуковой кавитации. Особое внимание уделено подбору нефтепродуктов, основанному на анализе их качественного и количественного состава. Известно, что наиболее эффективными сульфидрильными собирателями являются меркаптаны (тиоспирты). В работе использованы серосодержащие нефтепродукты с одинаковым содержанием серы, но различной формой ее присутствия в исходных материалах: очищенная нефть, меркаптан-содержащий продукт, а также промежуточный продукт, полученный при демеркаптанизации нефти. На основе указанных нефтепродуктов и бутилового ксантогената были созданы композиции, для которых в процессе ультразвуковой кавитации определялись зависимости изменения устойчивости эмульсий во времени от мощности ультразвукового воздействия и соотношения компонентов. Были разработаны оптимальные условия ультразвуковой кавитации и пропорции компонентов в композициях. Установлено, что, несмотря на одинаковое содержание серы, для получения флотореагентов пригодны только серосодержащие продукты определенной структуры. Такое выявлено роль ультразвуковой кавитации в модификации свойств композиций, что существенно влияет на их эффективность в качестве собирателей.

Ключевые слова: очищенная нефть, меркаптан-содержащий продукт, бутиловый ксантогенат.

Информация об авторах:

<p>Кенжалиев Багдаулет Кенжалиевич</p>	<p>Доктор технических наук, профессор, Генеральный директор-Председатель правления АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, ул.Шевченко 29/133, 050010, Алматы, Казахстан. Email: bagdaulet_k@satbayev.university; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1474-8354</p>
<p>Муханова Айнур Айтказыновна</p>	<p>Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения, АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, ул.Шевченко 29/133, 050010, Алматы, Казахстан. Email: a.mukhanova@satbayev.university; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2130-683X</p>
<p>Саменова Назира Ораққызы</p>	<p>Научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения, АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, ул.Шевченко 29/133, 050010, Алматы, Казахстан. Email: nazira.orakkyzy@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-3027-5246</p>
<p>Токтагулова Камишат Надировна</p>	<p>АО СНПЗ Актобемунайгаз, инженер-химик 2-категории, Актобе, Казахстан. Email:nadirova_n_k@mail.ru</p>
<p>Калдыбаева Жамихан Абдишабековна</p>	<p>Младший научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения, АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, ул.Шевченко 29/133, 050010, Алматы, Казахстан. Email: zh.kaldybaeva@satbayev.university; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5763-9655</p>
<p>Тұрысбеков Дұлатбек Қадырбекұлы</p>	<p>Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения, АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, ул.Шевченко 29/133, 050010, Алматы, Казахстан. Email: d.turysbekov@satbayev.university; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0904-1565</p>
<p>Юсупова Саня Жабборовна</p>	<p>Инженер лаборатории флотореагентов и обогащения, АО Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, ул.Шевченко 29/133, 050010, Алматы, Казахстан. Email: Sanly.yusupova02@mail.ru; ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-1728-3418</p>

References

- [1] Bulatovic SM. Summary of the Theoretical Aspects of Flotation. Handbook of Flotation Reagents. 2007, 87-124. <https://doi.org/10.1016/b978-044453029-5/50015-0>
- [2] Bulatovic SM. Adsorption Mechanism of Flotation Collectors. Handbook of Flotation Reagents. 2007, 125-152. <https://doi.org/10.1016/b978-044453029-5/50016-2>
- [3] Bocharov VA, Ignatkina VA, Puntukova BT. Issledovanie primeneniye ionogennych i ne ionogennych sobiratelei dlya pobychenii selektivnosti flotatsii sulfidnykh rud [Study of the use of ionic and non-ionic collectors to increase the selectivity of flotation of sulfide ores]. GIAB obogasheniye poleznykh iscopaiemykh [GIAB Mineral processing]. 2009; 14:456-471. (in Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-primeneniya-ionogennnyh-i-neionogennnyh-sobirateley-dlya-povysheniya-selektivnosti-flotatsii-sulfidnyh-rud>
- [4] Ignatkina VA, Bocharov VA, Tubdenova BT. C poisku regimov selektivnoi flotatsii sulfidnykh rud na osnove sochetaniya sobiratelei razlichnykh klassov soedinenii [To the search for modes of selective flotation of sulfide ores based on a combination of collectors of various classes of compounds]. Physico-technicheskie problem razrabotki poleznykh iscopaiemykh [Physical and technical problems of mineral development]. 2010; 1:97-104. (in Russ.). http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/69624/dlya_gornogo.pdf?sequence=1
- [5] Liang Cao, Xumeng Chen & Yongjun Peng The Formation and Stabilization of Oily Collector Emulsions – A Critical Review. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2020; 42(6):388-405. <https://doi.org/10.1080/08827508.2020.1776279>
- [6] Zharmanov AA. Kompleksnaya pererabotka mineralnogo syrja Kazakhstana [Integrated processing of mineral raw materials of Kazakhstan]. Astana: Poliant. 2003; 2:320. (in Russ.). <https://thelib.net/1635597-kompleksnaja-pererabotka-mineralnogo-syrja-kazahstana-sostojanie-problemy-reshenija-v-10-ti-tom-8-tekhnicheskie-problemy-gorno-metallurgicheskikh.html>
- [7] Abramov AA, Leonov SB. Obogachenie rud tsvetnykh metallov [Enrichment of non-ferrous metal ores]. M. Nedra. 1991, 407. (in Russ.). <https://elib.kstu.kz/ru/lib/document/IBIS/27293582-854E-4882-9095-E77C562282A4/>
- [8] Bogdanov OS, Maksimov II, and et al. Teoriya i tekhnologiya flotatsii rud [Theory and technology of ore flotation]. M.: Nedra. 1990, 363. (in Russ.). <https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=2549240>
- [9] Sorokin MM. Flotatsionnye metody obogashcheniya. Chimicheskie osnovy flotatsii [Flotation beneficiation methods. Chemical foundations of flotation.] M. MISIS. 2011, 411. (in Russ.). <https://www.litres.ru/book/mihail-sorokin/flotacionnye-metody-obogashcheniya-himicheskie-osnovy-flotac-30825897/>
- [10] Pearse M J. An overview of the use of chemical reagents in mineral processing. Minerals Engineering. 2005; 18:139-149. www.elsevier.com/locate/mineng
- [11] Bekturjanov NS, Tusupbaev NK, Smushkina LV. Colloidno chimicheskie i flotatsionnye characteristic novykh flotoreagentov tetrahydropyranovogo riyada [Colloidal chemical and flotation characteristics of new tetrahydropyran flotation reagents]. Tsvetnye metally [Non-ferrous metals]. 2010; 4:15-19. (in Russ.). <https://www.rudmet.ru/journal/32/article/2186/>
- [12] Pat. 2038857 RU Kompozitsii dlya flotatsii sulfidnykh rud [Compositions for flotation of sulfide ores]. Min RS, Kuzina ZP, Savinova IA, Pashkov GL, Antsiferova SA, Rogozhinsky EN. 24.02.1992. (in Russ.). https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002038857_19950709_C1_RU/
- [13] Pat. 2630073 RU Sposob flotatsionnogo obogashcheniya zoloto-uglerodsozderzhachikh rud [Method of flotation beneficiation of gold-carbon-containing ores]. Kuzina Z P, Malykhin D V, Elizarov R G, Malykhin D V, Kovalev N B. 05.09.2017. 25. (in Russ.). https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002630073_20170905_C2_RU/
- [14] Matveeva TN, Gromova NK. Osobennosti deistviya mercaptobenzothiazole i dithiophosphate pri flotatsii au – i pt-soderzhashchikh mineralov [Peculiarities of the action of mercaptobenzothiazole and dithiophosphate during flotation of au - and pt-containing minerals]. Gornyi informatsionno-analiticheskii bulleteren [Mountain Information and Analytical Bulletin]. 2009; 12(14):62-71. (in Russ.). https://eposlink.com/ru/catalog/library/elibrary/book/gornyy_informatsionno-analiticheskii_bulleteren_nauchno-tehnicheskiy_zhurnal-2074/publication/74357/
- [15] Matveeva TN, Gromova NK. Sorption of mercaptobenzothiazol and dithiophosphate on pt – cu – ni minerals at flotation process. Journal of Mining Science. 2007; 43(6):680-685. https://www.researchgate.net/publication/225510129_Sorption_of_mercaptobenzothiazol_and_dithiophosphate_on_Pt-Cu-Ni_minerals_at_flotation_process
- [16] Kenkiyak and Zhanazhol Oil Processing. Electronic Resource. <https://cyberleninka.ru/article/n/variant-pererabotki-neftey-mestorozhdeniy-kenkiyak-i-hanazhol> Accepted 02.02.2025.
- [17] Lebansky AN, Kudryashov BA, Titkov VD, Dunin AYU. Ultrasonic emulsification of oil and oil products. Automation, telemechanization and communication in the oil industry. 2011; 11:28-32. https://eposlink.com/ru/catalog/library/elibrary/book/avtomatizatsiya_telemehanizatsiya_i_svyaz_v_neftyanoy_promyshlennosti-2339/publication/123286/
- [18] Brooks KS, Harisunker T, Higginson A. Modelling Reagent Effects in Froth Flotation – A Data-Driven Approach. IFAC-PapersOnLine. 2023; 56(2):2323-2328. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1201>
- [19] Yessengazyev A, Barrmenshinova M, Bilyalova S, Mukhanova A, & Muhamedilova A. Study of the stability of the emulsion of ultramicroheterogeneous flotation reagents obtained by the method of ultrasonic dispersion. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syrja = Complex Use of Mineral Resources. 2020; 314(3):65-75. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.28>
- [20] KZ 10083 Sposob obogashcheniya upornykh sulfidnykh polimetallicheskikh rud [Method of concentration of refractory sulfide polymetallic ores.]. Mukhanova A A, Samenova N O, Kaldybaeva Zh A, Semushkina LV, Abdykirova GZh, Turysbekov DK. Application for granting a patent for a utility model No. 2024/1540.2 dated 26.11.24



ВЫПИСКА ИЗ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА ПОЛЕЗНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГП "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ"
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Статус: Действует

(11) № охранного документа	11261
(13) Охранный документ	Патент на Полезную Модель
(21) Номер заявки	202511178.2
(22) Дата подачи заявки	07.08.2025
(51) МПК	B03D 1/02 (2006.01) B03D 1/001
(54) Название	Способ обогащения полиметаллических сульфидных руд
(73) Патентообладатель	Акционерное общество «Институт миталлургии и обогащения» (КZ) Кенжалил Багдаупет Кошадинович Кенжалилович Кенжалиев Bagdaupet Kenzhalylyevich(KZ); Муханова Айнур Айтказыновна Муханова Айнур Айтказыновна Mukanova Aynur Aitkazyntova(KZ); Салимова Назира Оракызы Салимова Назира Оракызы Saliimova Nazira Orakazyzy(KZ); Калдыбекова Жамихан Абдидаековна Калдыбекова Жамихан Жамихан Абдидаековна Kaldybekova Zhamikhan Abdiddaekova(KZ); Мухамедилова Айнур Мухаметдилова Мухамедилов Айнур Мухаметдиловна Mukhamedilova Aynur Mukhametdilova(KZ); Юсупова Саня Жабборовна Юсупова Саня Жабборовна Yusupova Sanya Zhabborovna(KZ)
(45) Номер и дата блокировки	№ 41 - 10.10.2025
Срок действия	10.08.2026

Дата формирования выписки: 17.10.2025

