

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.765

На правах рукописи

Амантаев Дастан Торалыулы

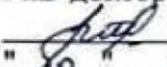
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

Название диссертации «Исследования процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата»  
Направление подготовки 7M07223 – "Металлургия и обогащение полезных ископаемых"

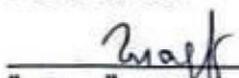
Научный руководители:

PhD доктор, лектор

 А.Р. Мамбеталиева  
" 10 " 06 2021 г.

Рецензент,

Ведущий научный сотрудник  
кандидат технических наук,  
АО «ИМНО»

 С.В.Гладышев  
" 11 " 06 2021 г.

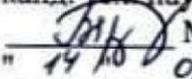
Нормоконтроль

Доктор PhD, сениор-лектор

 С.Б. Дюсенова  
" 08 " 06 2021 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующая кафедрой МиОПИ  
канд. тех. наук

 М.Б.Барменшинова  
" 14 " 06 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

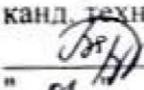
Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

7M07223 - "Металлургия и обогащение полезных ископаемых"

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующая кафедрой МиОПИ

канд. техн. наук,

 М.Б.Барменшинова

" 01 " 02 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту *Амантаев Дастан Торалыулы*

Тема: Исследования процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата

Утверждена приказом ректора университета № 435–Маг от "03" декабря 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации " 17 " 06 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Разработка технологии получения экологически безопасных полифункциональных флотореагентов и исследования закономерности флотации сульфидных минералов и хвостов флотации с их применением Методы исследований: химический, минералогический и другие.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) флотационного обогащения полиметаллических сульфидных руд и хвостов обогащения;

б) методики исследований;

в) изучение физико-химические свойства новых предлагаемых отечественных полифункциональных реагентов;

г) получение новых полифункциональных флотореагентов и изучение их физико-химических свойств;

д) применение экологически безопасных полифункциональных флотореагентов для обогащения.

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

Рекомендуемая основная литература:

1 Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения.-3-е изд.- М.: МГГУ, 2008. - 670 с.

2 Саградян А.Л., Крагачев Б.Г. Физико-химические методы исследования флотационного процесса. – Ереван: из-во Айастану, 1980. – 205 с.

3 Богданов О.С., Гольман А.М., Каковский И.А. и др. Физико-химические основы теории флотации. - М.: Наука, 1983. - 456 с.

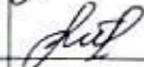
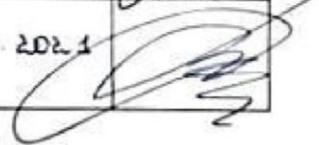
4 Вигдергауз В.Е., Панова М.В. Электрохимическое исследование смачиваемости поверхности сульфидных минералов в нейтральной среде // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2002.- № 2.- С.232-235.

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитический обзор	16.02.2021	выполнено
Основные методы анализа и исследований	16.03.2021	выполнено
Экспериментальная часть	16.04.2021	выполнено

**Подписи**

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

Наименования раздела	Консультант, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитический обзор	Доктор PhD, лектор А.Р. Мамбеталиева	16.02.2021	
Основные методы анализа и исследований		16.03.2021	
Экспериментальная часть		16.04.2021	
Нормоконтроль	Доктор PhD senior-лектор С.Б. Дюсенова	02.06.2021	

Научный руководитель  А.Р. Мамбеталиева

Задание принял к исполнению обучающийся  Д.Т. Амантаев

" 14 " 06 2021 г.

## АҢДАТПА

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

Ақтоғай кенорнындағы мыс-молибден кеніне түрлендірілген реагентті қолдана отырып, байыту технологиясын өңдеу.

Ақтоғай кенорнындағы мыс-молибден кенінің флотациясына базалық және түрлендірілген реагенттерді қолданғандағы технологиялық режимді қайта өңдеу үшін зерттеу жұмыстары жүргізілді. Базалық сұлбада, натрий сульфиді, керосин, сұйық шыны және біріккен мыс-молибден концентратының таңдамалы циклінде қыздыру әдісі қолданылды. Базалық технологиямен молибден және мыс концентраттары алынды, ондағы молибденнің үлесі 39,6 %, ал бөліп алу дәрежесі 80,3 % және мыстың үлесі 20,5 % болғандағы бөліп алу дәрежесі 99,97 %. Ақтоғай кенорнындағы мыс-молибден кенінің байыту технологиясын жетілдіре өңдеу үшін түрлендірілген реагент қолданғандағы зерттеу жұмыстары жүргізілді. Түрлендірілген реагентті дайындау үшін, бастапқы зат ретінде дизельді отын мен Арысқұм кенорнындағы мұнай (МФ-2 реагенті) қолданылды. Бірге берілетін реагенттердің оңтайлы қатынасы 1:1 таңдалынып алынды. Түрлендірілген реагент қолданғандағы технология бойынша молибден және мыс концентраттары алынды, ондағы молибденнің үлесі 40,2 %, ал бөліп алу дәрежесі 83,51 % және мыстың үлесі 20,5 % болғандағы бөліп алу дәрежесі 99,97 %. Зерттеу нәтижелері бойынша базалық технологиямен салыстырғанда, түрлендірілген реагент пен турбулентті микрофлотацияны бірге қолданғанда молибденнің бөліп алу дәрежесін 3,5 % жоғарлатты.

Зерттеу *жаңалығына* мыс-молибден кенінің флотациясына жаңа түрлендірілген реагенттерді қолдана отырып, тиімді технология өңдеу және әртүрлі факторларға бағынышты флотациялық заңдылықтарды бекіту болып табылады.

Бұл технология тау-кен байыту кәсіпорындарына әсіресе, молибденқұрамды кендерді өңдеуде қолданыс таппақ.

## АННОТАЦИЯ

В данной магистерской работе проведена разработка методов, повышающих эффективность применения флотации для извлечения ценных компонентов - редких металлов из сульфидных руд и хвостов флотации с использованием новых отечественных реагентов.

Разработана и апробирована технология обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированного реагента.

Проведены работы по отработке технологических режимов флотации медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением базовых и модифицированных реагентов. В базовой схеме применялись сульфид натрия, керосин, жидкое стекло и метод пропарки в цикле селекции коллективного медно-молибденового концентрата. По базовой технологии получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 39,6 % при извлечении 80,3 % и медный концентрат с содержанием меди 20,5 % при извлечении 99,97 %. Проведены работы по разработке усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов. В качестве исходных веществ для подготовки модифицированного реагента использовали дизельное топливо и нефть Арыскупского месторождения (реагент МФ-2). Произведен подбор оптимального соотношения совместно применяемых реагентов, которое составило 1:1. По технологии с применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 40,02 % при извлечении 83,51 % и медный концентрат с содержанием меди 20,5 % при извлечении 99,97 %. В результате исследований показано, что совместное применение модифицированного реагента, по сравнению с базовой технологией, позволяет увеличить извлечение молибдена на 3,5 %.

Новизной темы является разработка эффективной технологии флотации медно-молибденовой руды с применением новых модифицированных реагентов и установление закономерностей флотации в зависимости от различных факторов.

Данная технология применима для горно-обогатительных предприятий, перерабатывающих молибденсодержащие руды.

## ABSTRACT

In this master's work, the development of methods that increase the efficiency of flotation for the extraction of valuable components from rare metals of sulfide ores and flotation tailings using new domestic reagents is carried out.

Development and testing of the technology for the beneficiation of copper-molybdenum ore of the Aktogay deposit using a modified reagent.

Work was carried out to develop technological modes of flotation of copper-molybdenum ore from the Aktogay deposit using basic and modified reagents. In the basic scheme, sodium sulfide, kerosene, water glass and the steaming method were used in the selection cycle of collective copper-molybdenum concentrate. According to the basic technology, a molybdenum concentrate with a molybdenum content of 39.6% was obtained with an extraction of 80.3% and a copper concentrate with a copper content of 20.5% with an extraction of 99.97%. Work has been carried out to develop an improved technology for enrichment of copper-molybdenum ore from the Aktogay deposit using modified reagents and turbulent microflotation. Diesel fuel and oil from the Arysium field (reagent MF-2) were used as starting materials for the preparation of the modified reagent. The selection of the optimal ratio of jointly used reagents, which was 1: 1, was made. By the technology with the use of a modified reagent, a molybdenum concentrate with a molybdenum content of 40.02% with an extraction of 83.51% and a copper concentrate with a copper content of 20.5% with an extraction of 99.97% was obtained. As a result of the research, it has been shown that the combined use of the modified reagent, in comparison with the basic technology, makes it possible to increase the extraction of molybdenum by 3.5%.

The novelty of the topic is the development of an effective technology for flotation of copper-molybdenum ore using new modified reagents and the establishment of regularities of flotation depending on various factors.

This technology is applicable to mining and processing enterprises processing molybdenum-containing ores.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	9
1	Анализ современного состояния и пути совершенствования переработки труднообогатимых медно-молибденовых руд	11
2	Исследование флотационного обогащения медно-молибденовой руды	16
2.1	Краткие сведения о месторождениях молибденовой руды	16
2.2	Физико-химические характеристики сырья для получения флотационных реагентов	21
	Выводы по 2 разделу	27
3	Отработка технологических режимов флотации медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением базовых реагентов	28
3.1	Краткие сведения о месторождении Актогай	28
3.2	Изучение вещественного состава руды	29
3.3	Определение оптимального реагентного режима флотации руды в цикле коллективной медно-молибденовой флотации	34
3.4	Отработка технологии селекции коллективного медно-молибденового концентрата	38
	Выводы по 3 разделу	45
4	Разработка усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов	46
4.1	Отработка технологии селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением модифицированных реагентов	46
4.2	Проведение укрупненно-лабораторных испытаний технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов	49
	Выводы по 4 разделу	52
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	55
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Список опубликованных работ по теме диссертаций	59
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Оттиски опубликованных работ по теме диссертаций	60

## ВВЕДЕНИЕ

### *Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы*

Растущие потребности в ископаемом сырье, ухудшение качества добываемых руд, проблемы энерго- и ресурсосбережения требуют новых подходов к технологиям обогащения минерального сырья. За последние 20 лет содержание цветных металлов в рудах снизилось в 1,5 раза, а доля труднообогатимых руд выросла с 15 до 40 % от общей массы сырья, поступающего на обогащение.

Трудности обогащения молибденсодержащих руд обусловлены особенностями их вещественного состава. К основным из них относится необходимость очень тонкого измельчения некоторых продуктов обогащения. Невысокая эффективность флотационного извлечения из руд частиц микрометровых размеров является одной из важных причин больших потерь ценных компонентов на обогатительных фабриках. Решением данной проблемы занимаются обогатители по всему миру.

Установлено, что очень тонкое диспергирование в общем случае способствует резкому повышению реакционной способности вещества, увеличивается его растворимость, меняются скорости ряда гетерогенных процессов. Плохая флотация минералов мельче 10-5 мкм объясняется тем, что эти частицы имеют очень небольшую вероятность столкновения с пузырьками воздуха во флотируемой пульпе, так как потоки воды, обтекающие пузырьками, легко увлекают частицы в сторону от последних. Для флотации тонких частиц решающую роль играет вероятность их столкновения с пузырьками.

Некоторыми исследователями предлагается применение так называемой «турбулентной микрофлотации», которая заключается в формировании флотационных воздушных пузырьков вне обрабатываемой пульпы в виде концентрированной водо-воздушной эмульсии. Разработанный метод был успешно проверен при исследовании обогатимости ультратонкодисперсного магнитного концентрата железной руды. Получены положительные результаты, превосходящие традиционные флотационные способы обогащения – в 2-3 раза увеличилась производительность и существенно снизились потери металла в хвостах.

Одним из основных направлений в развитии и совершенствовании технологии флотации руд цветных и редких металлов является создание новых селективно действующих органических флотационных реагентов.

Основной проблемой при обогащении медно-молибденовых руд является разделение коллективного медно-молибденового концентрата с депрессией сульфидов меди и железа и флотацией молибденита.

Выбор способа селекции зависит от его минерального состава, реагентного режима коллективной флотации, расхода и стоимости реагентов, энергетических затрат в цикле селекции и требований к качеству

концентратов. Высокая эффективность разделения медно-молибденовых концентратов достигается только после удаления собирателя с поверхности минералов. Наиболее распространенными недостатками применяемых способов разделения коллективных медно-молибденовых концентратов являются депрессия благородных металлов, затраты на подогрев пульпы и использование в процессах разделения токсичных реагентов. В этой связи поиск эффективных и экологически безопасных методов селекции по-прежнему является актуальной задачей. Разработка технологии обогащения медно-молибденовой руды с использованием модифицированных реагентов обеспечит более высокое извлечение полезных компонентов из труднообогатимого сырья.

#### *Актуальность темы*

Технологические особенности обогащения молибденсодержащих руд определяются свойствами молибденита, ассоциирующих с ним минералов и степенью окисления руд. Трудности обогащения молибденсодержащих руд обусловлены особенностями их вещественного состава. К основным из них относятся: необходимость очень тонкого измельчения некоторых продуктов обогащения, недостаточная эффективность отделения сульфидных минералов от минералов породы, необходимость применения сложных технологических режимов разделения сульфидных минералов. Поэтому актуальной является проблема изыскания новых технологических методов и схем обогащения молибденсодержащих руд.

#### *Новизна темы*

Новизной темы является разработка эффективной технологии флотации медно-молибденовой руды с применением новых модифицированных реагентов и установление закономерностей флотации в зависимости от различных факторов.

#### *Цели и задачи исследований*

Целью исследований является разработка и апробация технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированного реагента.

В задачи исследований входило:

- отработка технологических режимов флотации медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением базовых реагентов;
- разработка усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированного реагента;
- проведение укрупненно-лабораторных испытаний технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированного реагента;

## **1. Анализ современного состояния и пути совершенствования переработки труднообогатимых медно-молибденовых руд**

Трудности обогащения молибденсодержащих руд обусловлены особенностями их вещественного состава. К основным из них относится необходимость очень тонкого измельчения некоторых продуктов обогащения. Невысокая эффективность флотационного извлечения из руд частиц микрометровых размеров является одной из важных причин больших потерь ценных компонентов на обогатительных фабриках. Решением данной проблемы занимаются обогатители по всему миру.

Необычное поведение шламов при флотации в значительной мере вытекает из специфических особенностей тонкоизмельченного материала. При измельчении твердых тел с ростом дисперсности происходит изменение ряда физических свойств вещества, в результате чего материал приобретает свойства, не присущие ему в крупнозернистом состоянии [1].

Установлено, что очень тонкое диспергирование в общем случае способствует резкому повышению реакционной способности вещества, увеличивается его растворимость, меняются скорости ряда гетерогенных процессов. Эффект изменения свойств твердого тела при этом обычно связывается не только с уменьшением крупности частиц и увеличением удельной поверхности продукта. Определенную роль играет также изменение удельной адсорбционной способности вещества и его поверхностной энергии [2-3].

Особенности поверхности минеральных частиц микродисперсных размеров обуславливаются тремя факторами:

- преимущественным переходом в этот класс крупности легко шламующихся минералов, особенно охристых, глинистых или лимонитизированных;
- изменением поверхности тонких частиц вследствие взаимодействия с водой и растворенными в ней веществами (кислородом и др.);
- влиянием на кристаллическую поверхность механических воздействий, приводящим в общем случае к разупорядочению решетки и изменению ее адсорбционной активности.

Плохая флотация минералов мельче 10-5 мкм объясняется тем, что эти частицы имеют очень небольшую вероятность столкновения с пузырьками воздуха во флотируемой пульпе, так как потоки воды, обтекающие пузырьками, легко увлекают частицы в сторону от последних.

Для флотации тонких частиц решающую роль играет вероятность их столкновения с пузырьками, а устойчивость закрепления имеет подчиненное значение в виду небольшой величины отрывающих сил [4].

Заметное улучшение флотации без предварительной дешламации руд может быть достигнуто введением, в дополнение к собирателю, аполярных масел (керосин, топливное масло и т.п.). Этот метод был назван эмульсионной или агломерационной флотацией. Значительное улучшение

флотации отмечается при использовании масел в сочетании с жирнокислотными собирателями, однако с аминами положительного эффекта не наблюдается. Углеводородные масла могут увеличивать скорость флотации шламов или снижать их вредное влияние на флотацию более крупных частиц.

Ультрафлотация с помощью минералов-носителей заключается в создании условий налипания тонких частиц на зерна минералов флотационной крупности, при этом возникает необходимость подбора реагентного и гидродинамического режимов и регенерации минерал-носителя. Первоначально на этот метод возлагали большие надежды, однако повышенные расходы собирателя и трудности последующего отделения минерала-носителя от полезных минералов в значительной степени ограничили использование данного метода. При обогащении мономолибденовых руд необходимо учитывать особенности минералогического и химического состава для оптимизации реагентного режима. Для данного типа руды пирит часто является «носителем» молибденита, поэтому для эффективной флотации необходимо использование сочетаний аполярного и сульфгидрильного собирателей [5].

Для того, чтобы тончайшие частицы могли столкнуться с пузырьками, приходится их вначале флокулировать с помощью реагентов-собирателей, так называемая флокулярная флотация. Но флокуляция отличается небольшой избирательностью и таким путем не удастся качественно разделить тонкие частицы. [6].

Улучшение селективности флотации шламов было достигнуто в лабораторных условиях при осуществлении процесса в вакуумной камере при флотации с помощью газов, выделившихся из раствора. Вероятность возникновения пузырька на частице не зависит от размера частицы, а вероятность удержания больше у частиц малых размеров. Следовательно, флотация частиц шламовых размеров газами, выделяющимися из раствора, при прочих равных условиях является более успешной [7-9].

Широко известно, что эффективность флотационного процесса резко снижается, когда размер флотируемых частиц становится менее 25 мкм. Теоретически было показано, что решение этой проблемы может быть достигнуто при наличии во флотационном процессе пузырьков воздуха размером, не превышающем 50 мкм. Поскольку получение и применение столь мелких пузырьков во флотационных машинах известных конструкций практически невозможно, совместно с украинскими учеными (ЧП «Турбофлотсервис», г. Киев) был разработан принципиально новый метод флотации ультратонкодисперсных минеральных частиц, получивший название «турбулентная микрофлотация». Принципиальное отличие этого метода от традиционной флотации заключается в формировании флотационных воздушных пузырьков вне обрабатываемой пульпы в виде концентрированной водо-воздушной эмульсии, которая затем смешивается с пульпой и пропускается через специальный турбулентный миксер

(флотореактор). Во флотореакторе осуществляется минерализация микропузырьков и их последующее укрупнение за счёт коалесценции и агрегирования в крупные флотокомплексы, содержащие тысячи исходных микропузырьков, что способствует их быстрому отделению от пульпы седиментацией. Разработанный метод был успешно проверен при исследовании обогатимости ультратонкодисперсного магнитного концентрата железной руды [6]. Получены положительные результаты, превосходящие традиционные флотационные способы обогащения – в 2-3 раза увеличилась производительность и существенно снизились потери металла в хвостах. Как видим, обеспечение оптимальных условий флотационного процесса за счет применения усовершенствованной аппаратуры, наряду с проблемами полного вскрытия флотируемых минералов в процессах рудо- и пульпоподготовки, являются наиболее актуальными научными проблемами в управлении флотационным поведением микро- и субмикродисперсных частиц минералов.

Кроме рассмотренного метода комбинированной микрофлотации, казахстанскими исследователями многие годы изучается пульсационный способ газовыделения для аэрации процессов флотации ультратонких минеральных частиц, названный псевдокавитационной флотацией. Способ псевдокавитационной флотации заключается в создании специфических условий выделения из гетерогенной флотационной среды воды на поверхность тончайших минеральных частиц и роста на ней пузырьков воздуха (газа). Выделение и рост микропузырьков на зародышевых аполярных поверхностях минералов протекает за счёт создаваемого псевдокавитационного эффекта при интенсивной обработке пульпы в диапазоне частот около 300 кГц. Обязательными условиями выделения газовых микропузырьков на аполярной поверхности должно быть наличие в водной гетерогенной среде гидрофобных минеральных нано- и микрочастиц, которые представляют кавитационные зародыши в пульсационном поле упругих колебаний, и одновременное присутствие, наряду с аполярными гетерообъектами, растворённых в воде флотационной системы газов уже в фазе образования кавитационных полостей.

Авторами в процессе многочисленных исследований разработано и предложено устройство для аэрирования пульпы – высоконапорный роторный пульсационный аэратор (ВРПА). Аппарат испытан при флотации свинцово-цинковой руды Акжальского месторождения, измельчённой до 80 % , 90 % и 100 % класса меньше 44 мкм. Сфалерит депрессировали, а частицы галенита оставались гидрофобными. В зависимости от условий флотации достигнуто повышение извлечения свинца в свинцовый (пенный) концентрат от 8 до 13%, цинка в камерный продукт от 4 до 8,5 % при относительно несущественном повышении содержания металлов в одноименных концентратах [7]. Эти данные убедительно указывают не только на улучшение управляемости флотации микро- и наночастиц, но и

сохранение показателей извлечения частиц обычной флотационной крупности [8-11].

Изучалась возможность использования сухой технологии рудоподготовки молибденсодержащих руд с исключением мокрого измельчения с помощью центробежно-ударного дробления и измельчения. При этом не происходит переизмельчения молибденита, снижается процесс окисления поверхности минерала, а значит, повышается эффективность флотации [12].

Вопросу подготовки и подачи флотореагентов во флотационную пульпу на обогатительных фабриках необходимо уделять большее внимание. Так, предварительное эмульгирование малорастворимых в воде собирателей или тонкое диспергирование водорастворимых флотореагентов позволяет повысить активность некоторых реагентов, снизить их расход, повысить технологические показатели обогащения минерального сырья [13].

Получены патенты на диспергаторы флотореагентов различных модификаций – РРК-1, РРК-2, РРК-3 [14-16]. С помощью этих аппаратов решаются одновременно три задачи: уменьшение размеров капелек эмульсии, ее стабилизация и активация.

Аппараты предназначены для эмульгирования различных масел (машинное, индустриальное, трансформаторное, веретенное, соляровое) и топлива (керосин), диспергирования и активизирования других жидких реагентов.

Распылители реагентов типа РРК серийно выпускаются в трех модификациях. Распылители просты по конструкции, не имеют движущихся частей, выполнены из нержавеющей стали, обладают высокой степенью надежности и позволяют: сократить расход реагентов от 10 до 30 %; повысить при флотации извлечение в концентраты золота, меди, молибдена из соответствующих руд от 0,5 % до 10 %.

Аппарат РРК-1 прошел промышленные испытания и внедрен на Алмалыкском ГМК (Республика Узбекистан), РРК-2 – на фабриках ТОО «Казахмыс».

Более 249 тыс. тонн - шестая часть мировых разведанных запасов молибдена - находятся на территории Казахстана. Наиболее крупные запасы молибдена приурочены к рудам Коктенкольского, Актогайского, Верхне-Кайрактинского, Караобинского, Айдарлинского месторождений. Месторождения медно-порфировых руд, содержащих помимо меди молибден в виде молибденита  $\text{MoS}_2$  и повеллита  $\text{CaMoO}_4$ , являются самыми крупными не только по запасам и добычи меди, но и источником получения значительного количества молибдена.

Одним из основных направлений в развитии и совершенствовании технологии флотации руд цветных и редких металлов является создание новых селективно действующих органических флотационных реагентов [17-21].

Основной проблемой при обогащении медно-молибденовых руд является разделение коллективного медно-молибденового концентрата с депрессией сульфидов меди и железа и флотацией молибденита. Очень редко применяется технология с депрессией молибденита и флотацией сульфидов меди и пирита [22-26].

В настоящее время наиболее распространенным методом разделения медно-молибденовых концентратов является депрессия сульфидов меди и железа сернистым или гидросернистым натрием, которые подаются в пропарку медно-молибденового концентрата при температуре 80-90<sup>0</sup>С. При «паровой» флотации молибденовая флотация проводится также при температуре 80-90<sup>0</sup>С, создаваемой подачей пара непосредственно в камеры флотационных машин. При такой повышенной температуре уменьшается растворимость кислорода и значительно уменьшается степень окисления сернистых ( $S^{2-}$ ) и гидросернистых ( $HS^-$ ) ионов. За счет этого расход сернистого натрия снижается в 5-10 раз и составляет 3-5 кг/т коллективного концентрата [27-29].

О применении отходов нефтяной промышленности в обогащении руд тяжелых и цветных металлов сообщается в докладе М.А.Аскарова, О.Б.Хушвакова, Ф.К.Кушимова и др. Результаты исследований показали, что нефтешламовый раствор (НШР) содержит в своем составе органические вещества, обладающие избирательно гидрофобизирующим свойством минеральных частиц, с достаточно высокой адгезией (54,7 эрг/см), возможности использования его в качестве флотореагента как заменителя аполярных реагентов в коллективной флотации золотосодержащих медно-молибденовых руд. В настоящее время успешно завершены полупромышленные испытания НШР. Данный реагент применяют в качестве активатора для обогащения полиметаллических руд на Алмалыкском ГМК [30].

Технико-экономические показатели переработки медно-молибденовых руд в значительной степени определяются эффективностью способов разделения коллективного концентрата. Выбор способа селекции зависит от его минерального состава, реагентного режима коллективной флотации, расхода и стоимости реагентов, энергетических затрат в цикле селекции и требований к качеству концентратов. Высокая эффективность разделения медно-молибденовых концентратов достигается только после удаления собирателя с поверхности минералов. Наиболее распространенными недостатками применяемых способов разделения коллективных медно-молибденовых концентратов являются депрессия благородных металлов, затраты на подогрев пульпы и использование в процессах разделения токсичных реагентов. В этой связи поиск эффективных и экологически безопасных методов селекции по-прежнему является актуальной задачей. Разработка технологии обогащения медно-молибденовой руды с использованием модифицированных реагентов обеспечит более высокое извлечение полезных компонентов из труднообогатимого сырья.

## 2. Исследование флотационного обогащения медно-молибденовой руды

### 2.1 Краткие сведения о месторождениях молибденовой руды

Молибден относится к редким элементам, его кларк в земной коре равен  $1,1 \cdot 10^{-4}$  % по массе. Кроме того, оценено общее содержание его во Вселенной ( $5 \cdot 10^{-7}$  % по массе или  $10^{-8}$  % от общего количества атомов), на Солнце ( $9 \cdot 10^{-7}$  % (масс.) или  $10^{-8}$  % (ат.)), углеродистых метеоритах ( $1,2 \cdot 10^{-4}$  (масс.) или  $2,5 \cdot 10^{-5}$  % (ат.)), морской воде ( $10^{-6}$  % (масс.) или  $6,4 \cdot 10^{-8}$  % (ат.)), речной воде ( $8 \cdot 10^{-8}$  % (масс.) или  $8 \cdot 10^{-10}$  % (ат.)).

Молибденовые руды принято делить по минеральному составу и форме рудных тел на жильные (кварцевые, кварц-серицитовые и кварц-молибденит-вольфрамитовые), прожилково-вкрапленные (кварц-молибденит-серицитовые, медно-молибденовые, медные порфиновые с молибденом), скарновые (молибденовые, вольфрамо-молибденовые и медно-молибденовые). Серицит – природный алюмосиликат. Скарны – это породы, образовавшиеся на контакте известняков и кислых магматических пород типа гранитов, богатых кварцем. Медно-порфиновые месторождения представлены породами, в которых кварцевые жилы с молибденитом образуют прожилки в измененной породе. Раньше наибольшее промышленное значение имели кварцевые жильные месторождения, сейчас жильные месторождения, в основном, выработаны и ценны прожилково-вкрапленные и скарновые месторождения. Более 60 % запасов молибдена и около 70 % его добычи приходится на медно-молибден-порфиновые месторождения. Из них молибден добывается попутно с медью [9].

Еще в 2001 г. США считались мировым лидером по запасам молибдена, но недавно ситуация изменилась с открытием новых молибденовых месторождений в Китае. Распределение (на 2004 г.) разведанных ресурсов молибденовых руд (в пересчете на свободный металл) по странам мира представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Мировое распределение разведанных ресурсов молибдена

Страна	Запасы разрабатываемых месторождений, тысячи тонн	Общие разведанные запасы, тысячи тонн
1	2	3
Китай	3300	8300
США	2700	5400
Чили	1100	2500
Канада	450	910
Армения	200	400
Россия	240	360

Мексика	90	230
Перу	140	230
Казахстан	130	200
Киргизия	100	180
Узбекистан	60	150
Иран	50	140
Монголия	30	50
Всего в мире	8600	19 000

Из 20 известных минералов молибдена основное промышленное значение имеют пять (таблица 2). Главнейший минерал молибденовых руд – молибденит, более 98 % всей добычи молибдена производится из молибденитовых руд. Второстепенную роль играет молибдошеелит, известный в некоторых скарновых месторождениях, и совсем незначительную – повелит, ферримолибдит и вульфенит, развивающиеся в зоне окисления. Промышленное значение имеют также молибдаты урана, широко распространенные в молибден-урановых месторождениях.

Таблица 2 - Главнейшие минералы молибдена

Минерал	Химическая формула	Содержание Мо, %
Молибденит	$\text{MoS}_2$	57,1–60
Молибдошеелит (зейригит)	$\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$	1–24
Повелит	$\text{CaMoO}_4$	48,2
Ферримолибдит	$\text{Fe}_2^{3+}(\text{MoO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	39,7–60,2
Вульфенит	$\text{Pb}(\text{MoO}_4)_3$	27–46

Различная растворимость молибденсодержащих минералов в соляной кислоте и щелочах позволяет отдельно определять количество молибдена, связанного с молибденитом, повелитом, ферримолибдитом и вульфенитом.

Другие молибденсодержащие минералы (кехлинит, комозит, линдгрениит, чиллагит, иордизит и др.) встречаются редко.

Молибденовые руды по составу подразделяются на собственно молибденовые, медно-молибденовые и вольфраммолибденовые. Из этих руд попутно получают: висмут, свинец, цинк, медь, олово, золото, серебро, рений, селен, теллур, германий, скандий. В свою очередь, молибден попутно учитывают и извлекают из руд некоторых урановых, вольфрамовых, медных и полиметаллических месторождений.

По запасам молибдена (тыс. т) месторождения подразделяются на мелкие – до 25, средние – 25–150, крупные – 150–500 и весьма крупные (уникальные) – свыше 500. Все разнообразие форм и условий залегания молибденовых руд охватывает четыре типа месторождений: штокверковый, пласто- и линзообразный, жильный и брекчиевых трубок. Кроме того, имеют

место техногенные образования – отвалы бедных или забалансовых руд и шламохранилища.

Самое большое в мире месторождение молибдена – Клаймакс (англ. Climax – наивысшая точка, так как это самое высокое место в США) было открыто в 1924 в штате Колорадо и законсервировано с 1995 в связи с опасностью перепроизводства молибденовой продукции. Крупнейший рудник не будет разрабатываться до тех пор, пока запасы месторождения Empire в том же комплексе, в 100 км к востоку от Клаймакса, не будут истощены.

Добыча молибденосодержащих руд в США ведется в Колорадо (рудник Henderson), Нью-Мексико (месторождение Questa), Айдахо (месторождение Thompson Creek). Попутное извлечение молибдена с медью идет в Аризоне (месторождения Bagdad и Sierrita) и Юте (Bingham Canyon). Точной информации о потенциальных ресурсах молибдена в Китае до сих пор нет, известно лишь, что основная добыча ведется в семи провинциях: Ляонин (горнорудный центр Хулудао), Шаньси (крупнейший молибден-порфировый рудник Циндуичэн), Хэбэй, Хэнань (месторождение Луанчуань), Цзянси (медно-порфировое месторождение Дэсин), Гирин, Шандун. Основная часть месторождений в Канаде расположена на территории Британской Колумбии (рудники Эндако и Китсолт). Ресурсы молибдена в Центральной и Южной Америке представлены, в основном, медно-молибден-порфировыми месторождениями, крупнейшими из которых (Chuquibambilla, El Teniente, Los Pelambres, Andina) владеет чилийская государственная корпорация Codelco (Corp. Nacional del Cobre de Chile). Кроме того, Мексика (месторождение La Caridad) и Перу (рудник Tokerpala) располагают весомыми запасами молибдена.

На территории бывшего СССР насчитывается 60 месторождений молибдена, при этом месторождения молибдена разведаны в основном в России, Казахстане, Узбекистане и Армении. По оценке «Инфолайн», запасы молибдена в СНГ превышают 3 млн т.

В России известно 14 разведанных молибденовых месторождений с суммарными запасами около 1,2 млн. т металла (около 40 % всех запасов стран СНГ). Только 9 месторождений имеют балансовые запасы молибдена. Сосредоточены они в Восточной Сибири (82 %), Кабардино-Балкарской Республике (14 %) и Республике Карелия (4 %). Среди крупных месторождений молибдена отметим Сорское, Агаскырское, Орехитанское, Мало-Ойногорское, Бугдаинское (все – в Восточной Сибири), а также Тырнаузское вольфраммолибденовое месторождение в Кабардино-Балкарии.

До недавнего времени в России разрабатывалось 4 месторождения молибденовых руд, в которых сосредоточено около 30 % разведанных запасов России. В настоящее время разрабатывается 3 месторождения – медно-молибденовые Сорское и Жирекенское и вольфраммолибденовое Калгутинское.

Около 29% разведанных запасов молибдена бывшего СССР находится в Казахстане, где разведано 34 месторождения. Основные разведанные запасы молибдена республики сосредоточены в крупном Коктенкольском месторождении, а также в вольфраммолибденовом Кайрактинском и крупных медно-молибденовых месторождениях Бощекульское, Актогай и Айдарлы.

На территории Казахстана до 1998 г. разрабатывались мелкие месторождения медно-молибденовых руд (Коунрадское, Саякская группа), в которых сосредоточено менее 1 % запасов молибдена республики. В настоящее время осваиваются два месторождения. Так, в 2005 г. началась разработка Шорского месторождения, с 2007 г. планируется разработка месторождения Кызылту.

В Армении разведано 6 месторождений собственно молибденовых руд, запасы которых составляют 25 % от суммарных по всей территории СНГ. В двух разрабатываемых медно-молибденовых месторождениях (Каджаранском и Агаракском) сосредоточено 92 % запасов республики. Разработку этих месторождений осуществляют, соответственно, Зангезурский и Агаракский медно-молибденовые комбинаты.

В Узбекистане разведано 4 месторождения с запасами около 5,5 % от суммарных по СНГ. Два из них, относящихся к медно-молибденовым (Кальмакырское и Сары-Чеку), разрабатываются Алмалыкским ГМК.

Запасами молибдена в комплексных рудах обладает в ограниченных объемах Кыргызстан. В настоящее время молибденосодержащие руды в республике не добываются.

Следует отметить, что запасы молибдена сосредоточены также в уран-молибденовых рудах (Россия, Казахстан, Кыргызстан), однако государственным балансом они не учитываются.

Основным методом обогащения молибденитовых руд является флотация – способ разделения мелких частиц различных веществ, основанный на различной их смачиваемости и накоплении на поверхности раздела фаз. Сначала молибденитовая руда предварительно измельчается в дробилках, затем в шаровых мельницах, а потом поступает на коллективную сульфидную флотацию. С помощью этого процесса удается получить концентрат, содержащий до 10 % молибдена. Полученный молибденовый концентрат поступает далее на селективную флотацию с применением специальных реагентов, в процессе которой (при заданном значении pH) происходит селективное отделение  $\text{MoS}_2$  от других сульфидов (халькопирита и пр.). Повторяя этот процесс 5–6 раз (с промежуточным измельчением), получают, в зависимости от технологии и первоначального минералогического состава, качественный молибденовый концентрат с содержанием Mo 48-58,6 %, Cu 0,01–2,2 %. Следует отметить высокую степень извлечения молибденита в процессе флотации, составляющую 90–95 % и выше [10-12].

Сейчас 80 % получаемого в мире молибдена используется в черной металлургии: в производстве низколегированных нержавеющей сталей, содержащих менее 4 % Мо, быстрорежущих и других инструментальных сталей, доля молибдена в которых достигает 9,5 %. Молибден улучшает легирующие свойства хрома в нержавеющей сталях, что особенно важно при их использовании в коррозионных средах, например, морской воде или в качестве конструкционных материалов в процессах нефтехимии. Металлорежущие молибденосодержащие инструменты могут закаливаться в процессе работы. В расплавы сталей элемент добавляется в виде молибдата кальция, молибденового ангидрида или ферромolibдена. Ферромolibден обычно получают при восстановлении огарков от обжига  $\text{MoS}_2$  в присутствии железа.

Большая часть остального потребления элемента № 42 приходится на молибденосодержащие катализаторы, которые широко применяются в процессах переработки нефти (крекинга, гидроочистки, риформинга), превращения метанола в формальдегид, парофазного окисления пропилена в акролеин, аммонолиза толуола, эпексидирования различных алкенов и других.

Чистый молибден находит ограниченное применение при изготовлении нагревательных элементов, а также в электровакуумной технике и электроламповом производстве.

Первое место в мире по потреблению молибденовой продукции занимает Западная Европа (35 %), за ней следуют США (25 %) и Япония (17 %). На долю этих регионов приходится более 90 % мирового использования молибдена.

Молибденитовые концентраты служат исходным сырьем для производства ферромolibдена и химических соединений различной степени чистоты: трехокиси молибдена, парамolibдата аммония, молибдата натрия и молибдата кальция. Независимо от того, на какой вид продукта перерабатывают молибденитовый концентрат, в промышленной практике обработку его начинают с окислительного обжига, в результате которого получают огарок, состоящий из трехокиси молибдена, загрязненной рядом примесей. Огарок затем поступает на выплавку ферромolibдена или на получение чистых соединений молибдена, важнейшее из которых - трехокись молибдена. При этом применяют способ возгонки или гидрометаллургическую (химическую) переработку огарка. Молибденитовые концентраты можно разлагать чисто гидрометаллургическими методами, исключая предварительный окислительный обжиг. К ним относятся: разложение азотной кислотой, окисление молибденита кислородом под давлением в щелочном растворе, обработка концентрата щелочным раствором гипохлорита натрия.

## 2.2 Физико-химические характеристики сырья для получения флотационных реагентов

Проведены исследования по изучению физико-химических характеристик реагентов, служащих исходным сырьем для получения флотационных реагентов. В качестве исходных веществ для подготовки модифицированных реагентов использовали печное топливо, дизельное топливо, нефть Арыскупского месторождения, реагенты ТС3021 и ТС7000 китайского производства. Реагент ТС3021 используется в основном для флотации молибденита, содержащего медь, и может ускорить процесс восстановления молибдена и улучшить дальнейшее разделение меди и молибдена. Может быть использован в восстановлении естественных медных и сульфидных медных руд, может частично заменять ксантогенат, применяться совместно с ксантогенатом. Обладает способностью вспенивания. Реагент ТС7000 в основном используется для флотации молибденовых руд. Его расход близок к расходу керосина (немного меньше), но он помогает увеличить восстановление молибдена.

Методом ИК-спектроскопии (рисунки 1-5) исследован состав применяемых веществ. На рисунке 1 приведен ИК-спектр пробы печного топлива. Установлено возможное присутствие алкенов – 3074, 2956, 2924, 2854, 1822, 1641, 1465, 1377, 1303, 993, 909, 887 $\text{cm}^{-1}$ , 722, 637  $\text{cm}^{-1}$  [31].

Самые интенсивные полосы в спектре относятся к валентным колебаниям С–Н алифатических углеводородов  $\nu$  СН – 2956, 2924, 2854  $\text{cm}^{-1}$ ; деформационные колебания  $\delta$  СН<sub>2</sub>, СН<sub>3</sub> - 1465, 1377  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\rho$  СН<sub>2</sub> - 722  $\text{cm}^{-1}$  (маятниковые колебания) [32, 33]. Полоса при волновом числе 3074  $\text{cm}^{-1}$  свидетельствует о присутствии в составе пробы ненасыщенного соединения [32]. Наличие двойных связей подтверждается зафиксированными при 1641, 1606  $\text{cm}^{-1}$  полосами валентных колебаний С=C [34], которые могут соответствовать соединениям типа RCH=CH–CH=CHCOX в транс-цис-форме [35].

Винильная группа – 1641, 993, 909  $\text{cm}^{-1}$  [32]. Верные колебания СН олефинов с двойной связью в конце цепи - 993, 909  $\text{cm}^{-1}$  [32].

Зафиксирована полоса неплоских крутильно-деформационных колебаний СН трансдизамещённых производных этилена при волновом числе 965  $\text{cm}^{-1}$  [35].

Возможно присутствие ароматических соединений 1606, 810, 766, 741  $\text{cm}^{-1}$ , колебания С=C кольца – 1606  $\text{cm}^{-1}$ , внеплоскостные деформационные колебания СН ароматического кольца - 810, 766, 741  $\text{cm}^{-1}$  [32, 34, 36].

В высокочастотной области спектра в диапазоне проявления валентных колебаний О – Н и N – Н наблюдается широкая полоса слабой интенсивности с максимумом при волновом числе 3363  $\text{cm}^{-1}$ . Полосы поглощения с максимумами при волновых числах 1168, 1021  $\text{cm}^{-1}$  попадают в диапазон проявления валентных колебаний С – О спиртов, фенолов, эфиров

[32]. Полоса поглощения при  $1021\text{ см}^{-1}$  попадает также в диапазон проявления валентных колебаний углеродного скелета [36].

Полоса при волновом числе  $626\text{ см}^{-1}$  попадает в диапазон проявления валентных колебаний связей  $\text{C}-\text{S}$ , а также  $\text{C}-\text{X}$  галогенопроизводных органических соединений [33, 36].

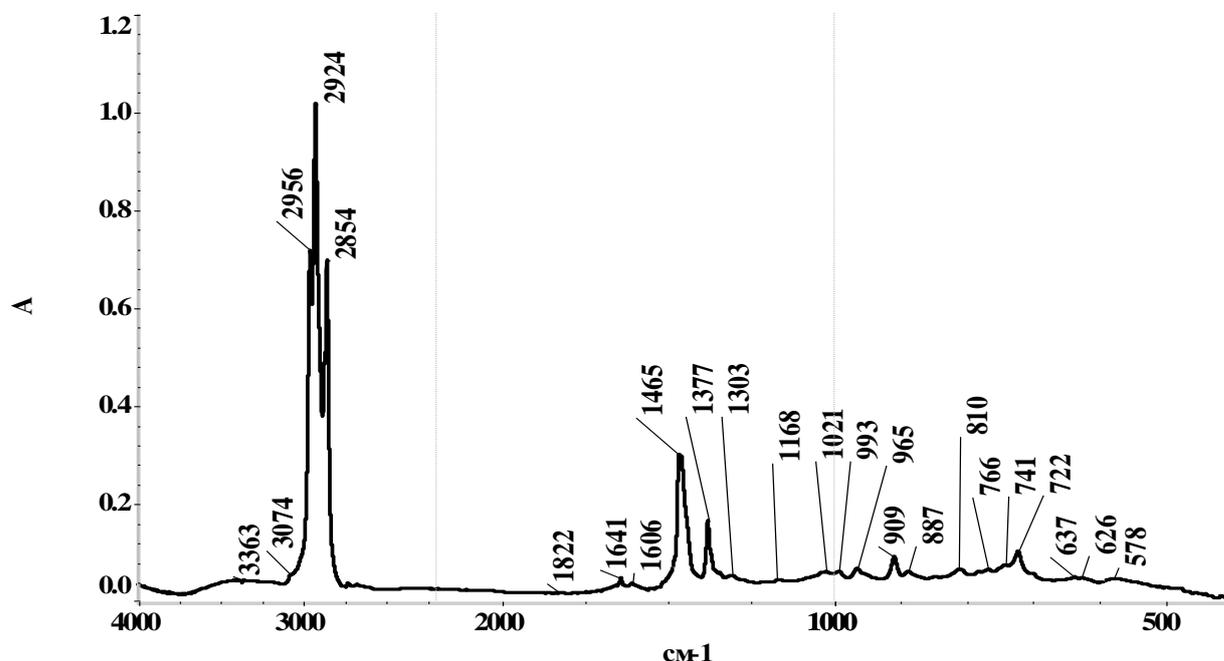


Рисунок 1 – Инфракрасный спектр пробы печного топлива

На рисунке 2 приведен ИК-спектр пробы дизельного топлива. При проведении компьютерного поиска идентичного соединения не найдено [31]. Самые интенсивные полосы относятся к метиленовым ( $\text{CH}_2$ ) и метильным ( $\text{CH}_3$ ) группам алифатических углеводородов: валентные колебания  $\nu\text{ CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$  -  $2956, 2924, 2854\text{ см}^{-1}$ , деформационные колебания  $\delta\text{ CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$  -  $1465, 1377\text{ см}^{-1}$ ,  $\rho\text{ CH}_2$  -  $722\text{ см}^{-1}$  (маятниковые колебания) [32].

В высокочастотной области спектра в диапазоне проявления валентных колебаний  $\text{O}-\text{H}$  и  $\text{N}-\text{H}$  наблюдаются очень слабые полосы с максимумами при волновых числах  $3384, 3182\text{ см}^{-1}$ .

В спектре наблюдаются полосы ароматических соединений  $1606, 811, 766, 740, 699\text{ см}^{-1}$ . Колебания  $\text{C}=\text{C}$  кольца -  $1606\text{ см}^{-1}$ , внеплоскостные деформационные колебания  $\text{CH}$  ароматического кольца -  $811, 766, 740, 699\text{ см}^{-1}$  [32, 34, 36].

Зафиксирована полоса неплоских крутильно-деформационных колебаний  $\text{CH}$  трансдизамещённых производных этилена при волновом числе  $965\text{ см}^{-1}$  [35].

Полоса с максимумом при волновом числе  $1168\text{ см}^{-1}$  может быть отнесена к колебаниям  $\text{C}-\text{O}$  в алифатических эфирах и к неплоскому колебанию углеродного скелета в  $\begin{matrix} \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{R} \\ | \\ \text{R} \end{matrix}$  структуре [37].

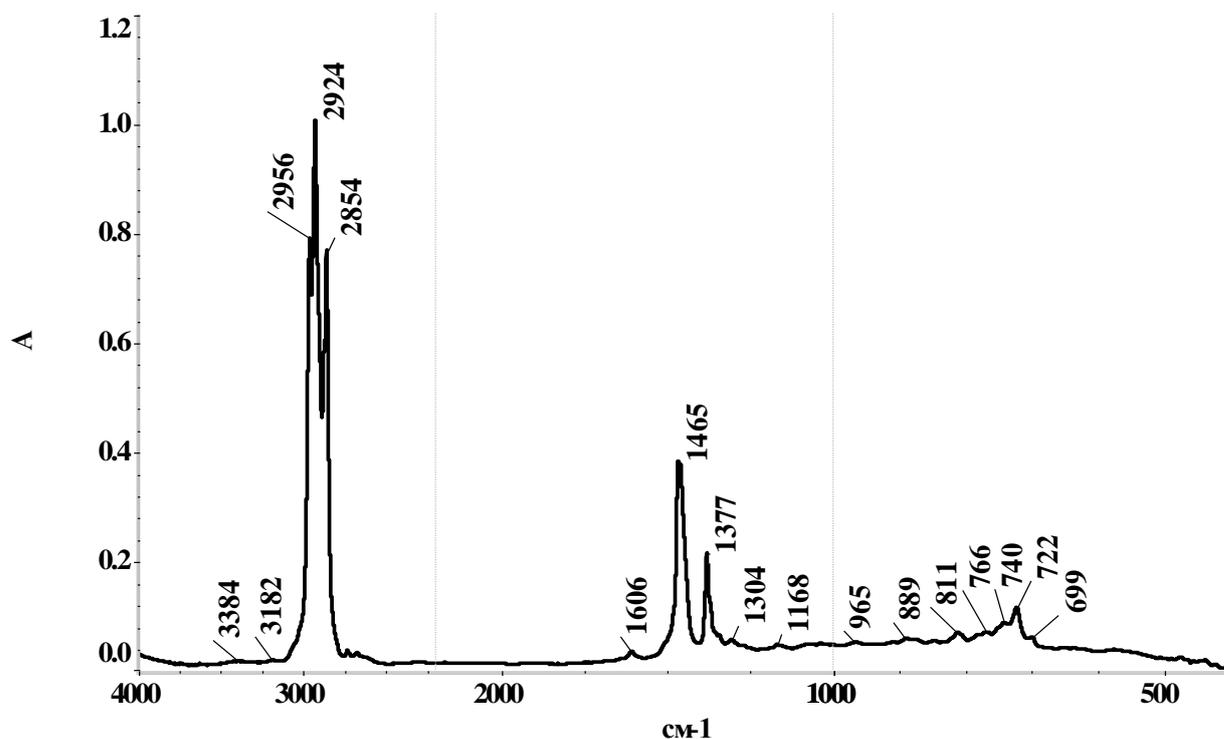


Рисунок 2 – Инфракрасный спектр пробы дизельного топлива

На рисунке 3 приведен ИК-спектр флотореагента ТС3021. При проведении компьютерного поиска идентичного соединения не найдено [31]. В высокочастотной области спектра в диапазоне проявления валентных колебаний O – H и N – H наблюдается широкая полоса с максимумом при волновом числе  $3387\text{ см}^{-1}$ . Валентные колебания C–H алифатических углеводородов  $\nu\text{ CH} - 2961, 2932, 2874\text{ см}^{-1}$ ; деформационные колебания  $\delta\text{ CH}_2, \text{ CH}_3 - 1467, 1391, 1370\text{ см}^{-1}$ ;  $\rho\text{ CH}_2 - 741\text{ см}^{-1}$  (маятниковые колебания) [32, 33]. Дублет при волновых числах  $1391, 1370\text{ см}^{-1}$  характеризует деформационные колебания  $\delta_{\text{S}}\text{CH}_3$  гем-диметильных групп [32, 33].

Валентные колебания C–H олефиновых соединений  $-3085\text{ см}^{-1}$  [32, 34], при волновом числе  $1637\text{ см}^{-1}$  отмечается полоса валентных колебаний  $\nu\text{ C}=\text{C}$  [32, 34, 36]. Валентные колебания карбонильной группы  $\nu\text{ C}=\text{O} - 1732, 1717\text{ см}^{-1}$  сложных эфиров  $\alpha, \beta$ -непредельных кислот [36].

Интенсивные полосы поглощения с максимумами при волновых числах  $1246, 1218, 1177, 1062\text{ см}^{-1}$  попадают в диапазон проявления валентных колебаний C – O спирты, эфиров [32, 34].

В спектре зафиксированы полосы, которые могут быть отнесены к неплоским колебаниям  $\delta\text{CH}$  производных этилена соединения типа  $\text{RCOO}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$ : крутильно-деформационные колебания –  $986\text{ см}^{-1}$ ; веерные колебания –  $922\text{ см}^{-1}$  [35].

Полоса при волновом числе  $593\text{ см}^{-1}$  попадает в диапазон проявления валентных колебаний связей C–S– в соединениях  $\text{R R}^{\text{I}}\text{R}^{\text{II}}\text{C}-\text{S}-$  [36].

При анализе спектра пробы использовалось приложение InterpretIR+ для интерпретации полос поглощения. Согласно [32, 34] в спектрах соединений, в которых группа C=S присоединена к атому азота полосы

поглощения валентных колебаний C=S наблюдаются в области 1300-1000 см<sup>-1</sup>, где также проявляются полосы поглощения валентных колебаний C-N и C-O, кроме того ряд полос в широкой области спектра от 1563 до 700 см<sup>-1</sup> может быть отнесён к колебаниям, связанным с взаимодействием между валентными колебаниями C=S и C-N.

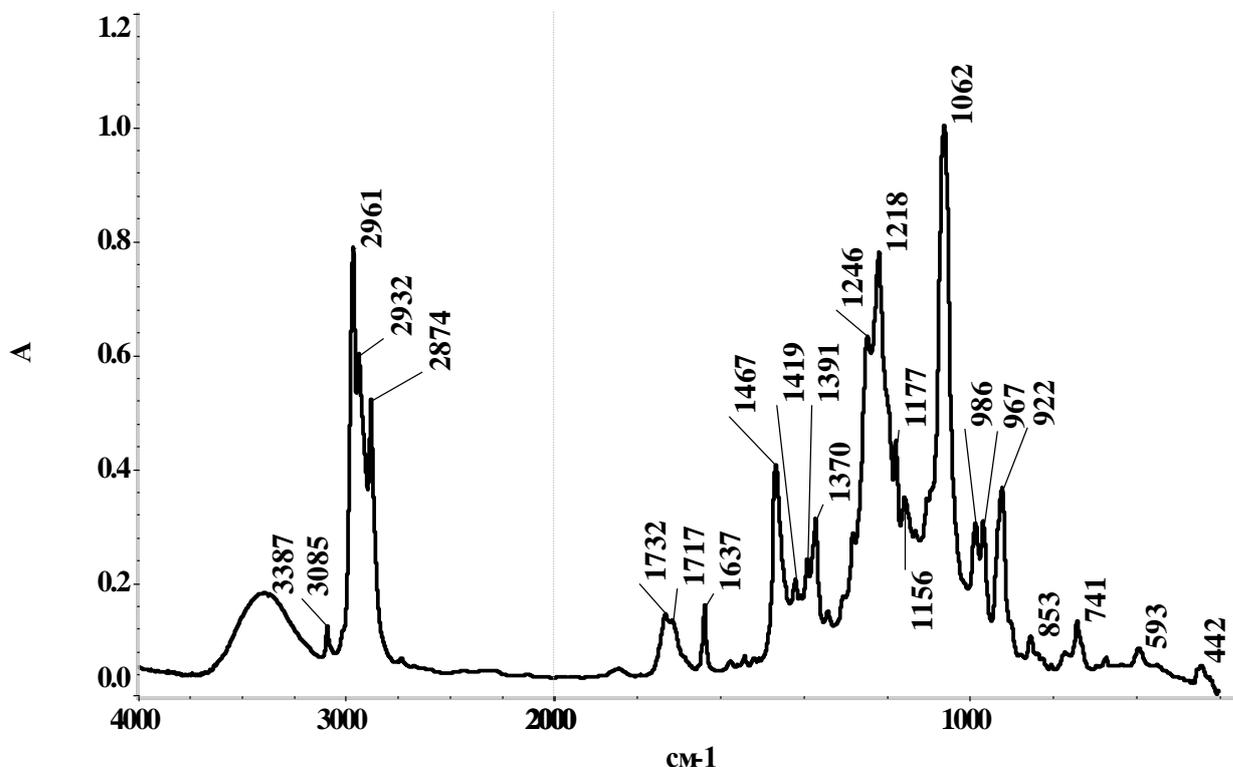


Рисунок 3 – Инфракрасный спектр флотореагента TC3021

На рисунке 4 приведен ИК-спектр флотореагента Z-200. При проведении компьютерного поиска идентичного соединения не найдено [31]. В высокочастотной области спектра в диапазоне проявления валентных колебаний O-H и N-H наблюдаются очень слабые широкие полосы с максимумами при волновых числах 3425, 3180 см<sup>-1</sup>. Валентные колебания C-H алифатических углеводородов:  $\nu_{as}(CH_3)$  – 2955 см<sup>-1</sup>,  $\nu_{as}(CH_2)$  – 2924 см<sup>-1</sup>,  $\nu_s(CH_2)$  – 2854 см<sup>-1</sup>; деформационные колебания  $\delta CH_2, CH_3$  - 1464, 1377 см<sup>-1</sup>,  $\rho CH_2$  - 722 см<sup>-1</sup> (маятниковые колебания) [32, 33].

В спектре наблюдаются полосы ароматических соединений 1605, 871, 848, 810, 771, 742 см<sup>-1</sup>. Колебания C=C кольца – 1605 см<sup>-1</sup>, внеплоскостные деформационные колебания CH ароматического кольца – 871, 848, 810, 771, 742 см<sup>-1</sup> [33, 35, 37]. Валентные колебания карбонильной группы  $\nu C=O$  – 1736 см<sup>-1</sup> [32, 36, 36].

Полосы поглощения с максимумами при волновых числах 1170, 1034 см<sup>-1</sup> попадают в диапазон проявления валентных колебаний C-O спиртах, эфиров, фенолов [32, 36]. Полоса 1170 см<sup>-1</sup> может быть отнесена к неплоскому колебанию углеродного скелета  $\begin{matrix} C-C-C-R \\ | \\ R \end{matrix}$  в структуре [37].

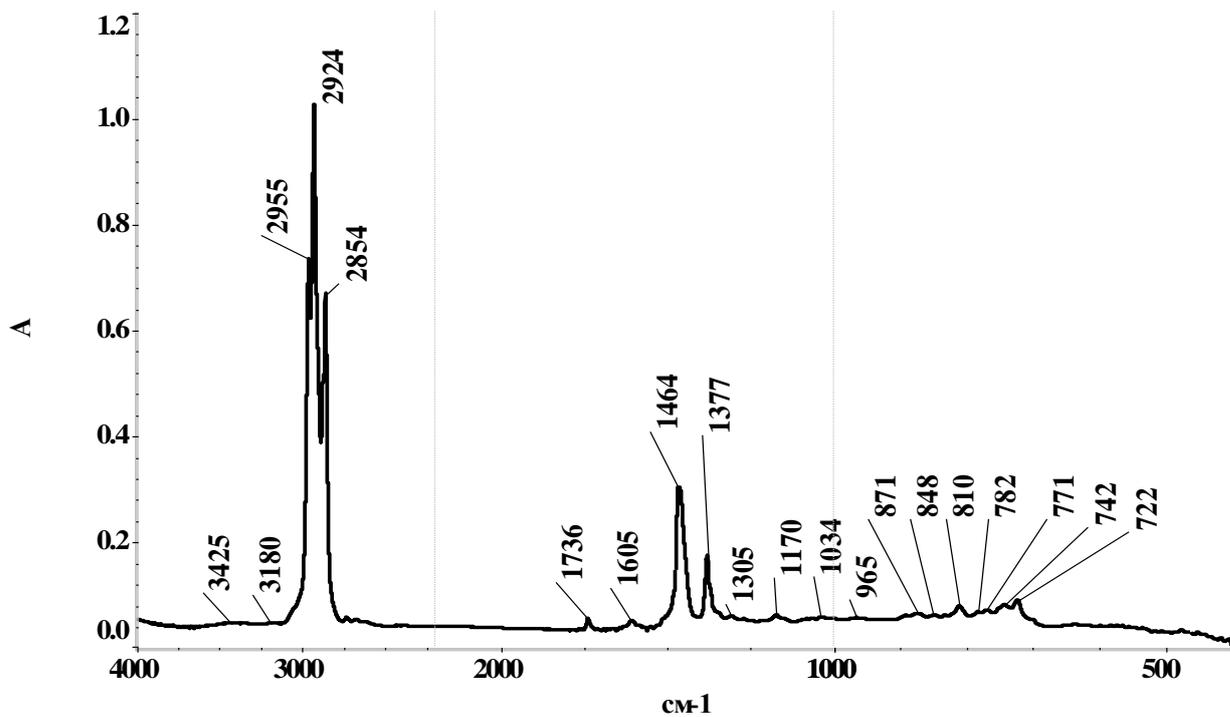


Рисунок 4 – Инфракрасный спектр флотореагента Z-200

На рисунках 5, 6 приведен ИК-спектр пробы нефти Арыскупского месторождения.

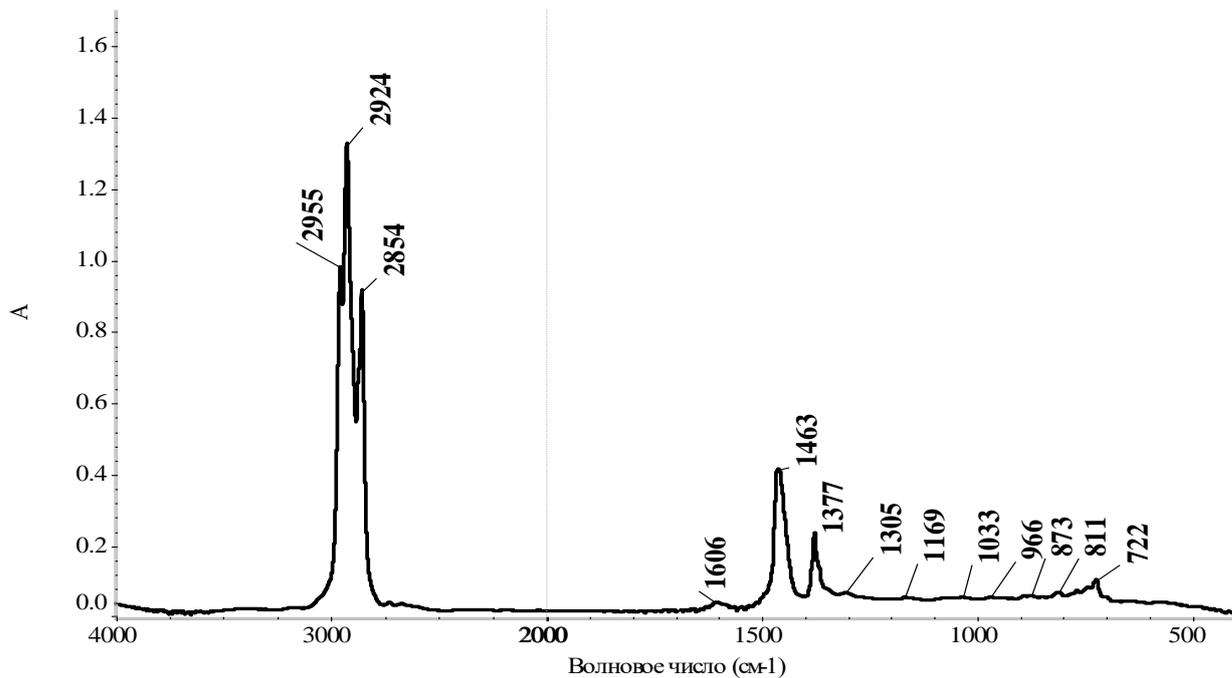


Рисунок 5 – Инфракрасный спектр пробы нефти Арыскупского месторождения

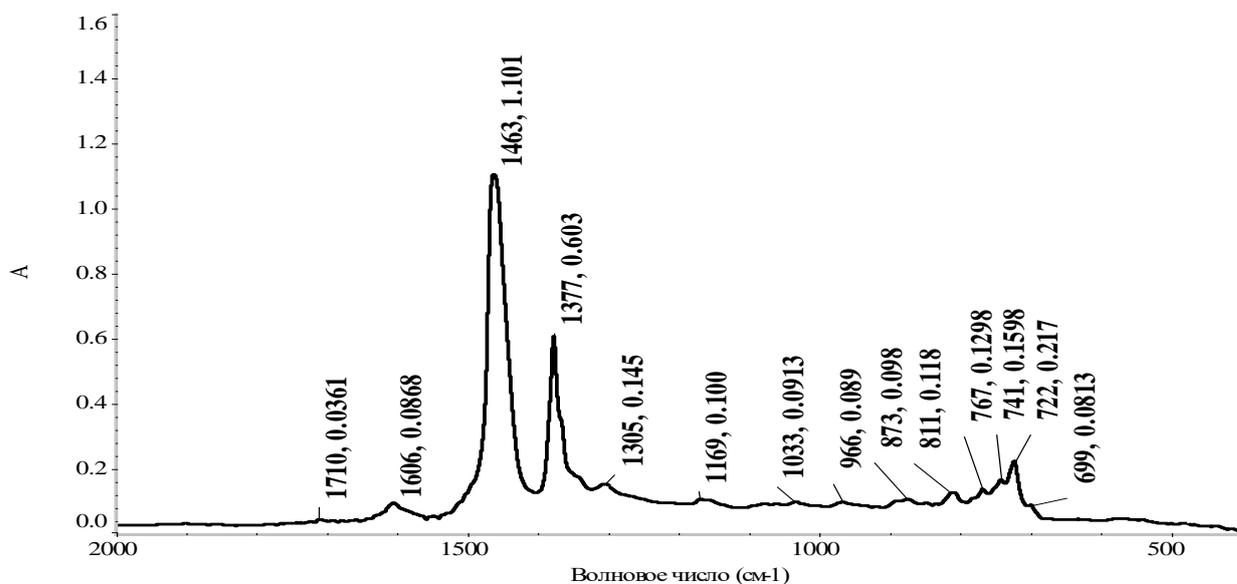


Рисунок 6 – Инфракрасный спектр пробы нефти Арыскупского месторождения

Отнесения полос поглощения приведены в таблице 3. В таблице 4 приведены рассчитанные спектральные коэффициенты для анализируемой пробы нефти Арыскупского месторождения [38].

Таблица 3 – Полосы поглощения, наблюдаемые в спектрах нефти Арыскупского месторождения

Волновое число, $\text{см}^{-1}$	Отнесение [21, 22]
2955	$\nu_{\text{as}}(-\text{CH}_3)$ алифатических соединений
2924	$\nu_{\text{as}}(-\text{CH}_2-)$ алифатических соединений
2854	$\nu_{\text{s}}(-\text{CH}_2-)$ алифатических соединений
1710	$\text{C}=\text{O}$ кислот, кетонов, ароматических эфиров
1606	плоскостные $\nu \text{C}=\text{C}$ бензольного кольца
1463	$\delta(-\text{CH}_2-)$ и $\delta_{\text{as}}(-\text{CH}_3)$
1377	$\delta_{\text{s}}(-\text{CH}_3)$ алифатических соединений
1305	$\delta_{\text{s}}$ неплоское $\text{CH}_2$
1169	$\text{C}-\text{O}$ алифатические эфиры; неплоское колебание углеродного скелета в структуре: $\begin{array}{c} \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{R} \\   \\ \text{R} \end{array}$
1033	$\beta =\text{CH}$ ароматических и нафтеновых структур; $\text{S}=\text{O}$ группа сернистых соединений
966	$\gamma =\text{CH}$ нафтеновых структур
873, 811, 741	неплоские $\delta(\text{C}-\text{H})$ колебания нафено-ароматических структур
767, 699	неплоские $\delta(\text{C}-\text{H})$ колебания ароматических структур различных типов замещения; моноциклы ароматические
722	крутильные $(\text{CH}_2)_n$ при $n \geq 4$

Таблица 4 - Спектроскопическая характеристика Арыкумского нефти

Степень разветвленности парафинов $R = D_{1377}/D_{1463}$	Соотношение ароматических углеводородов и нормальных парафинов $A_1 = D_{1605}/D_{722}$	Соотношение ароматических и парафиновых углеводородов $A_2 = D_{1605}/D_{1463}$	Соотношение нафтеновых и парафиновых углеводородов $H = D_{970}/D_{1463}$	Степень окисленности нефти $O = D_{1708}/D_{1463}$
0,55	0,40	0,08	0,08	0,03

Таким образом, изучены инфракрасные спектры пробы печного топлива, дизельного топлива, флотореагента ТС3021, флотореагента Z-200, пробы нефти Арыкумского месторождения.

#### *Выводы*

Установлено, что проба нефти Арыкумского месторождения имеет некоторую аналогию со структурой флоторегентов ТС3021 и Z-200, и может быть использован в качестве добавки к основному собирателю при флотации молибденовых руд.

### **3 Отработка технологических режимов флотации медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением базовых реагентов**

#### **3.1 Краткие сведения о месторождении Актогай**

Минеральные ресурсы месторождения Актогай составляют 1 719 млн. тонн при среднем содержании меди 0,33 %. Это второй крупнейший проект «Казахмыса» по добыче меди. Бозшаколь и Актогай являются крупнейшими неосвоенными месторождениями меди в мире, также они входят в число уникальных на бывшем советском пространстве.

В декабре 2012 года совет директоров Группы «Казахмыс» утвердил технико-экономическое обоснование разработки месторождения Актогай. В настоящее время на этом крупном месторождении меди в Восточном Казахстане ведутся подготовительные работы. На данном месторождении строительство завода по переработке руды завершится в 2016 году.

В соответствии с утвержденным графиком первая продукция из окисленной руды будет получена в 2015 году, а из сульфидной - в 2016 году. Капитальные затраты по проекту составят около 1,9 млрд. долларов США.

По словам генерального директора, два месторождения Актогай и Бозшаколь смогут обеспечить Казахстан дополнительным объемом продукции в 200 тысяч тонн, при этом затраты будут минимальны. Добыча будет происходить на карьерах нового поколения, что позволит Казахмысу выйти на качественно новый уровень. Общие инвестиции этих проектов составят 4 миллиарда долларов, также будет создано большое количество рабочих мест. Данные проекты окажут положительное влияние на рост горнодобывающей промышленности РК.

На проекте будет задействовано передовое крупногабаритное оборудование, впервые применяющееся в обогащительном производстве СНГ. Обогащители Актогай будут работать на конусных дробилках, мельницах полусамозмельчения и шаровых мельницах - все с безредукторным приводом.

На проекте будет занято свыше 3 000 человек на пике его строительства и около 1500 человек - на этапе эксплуатации.

Верхняя часть рудного тела месторождения Актогай представлена окисленными рудами, которые будут перерабатываться по технологии кучного выщелачивания. По словам гендиректора «Казахмыс», срок эксплуатации рудника составляет более 50 лет. Отечественная горнодобывающая компания планирует в течение первых 10 лет добывать 104 тыс. тонн меди в год. Далее производство меди в катодном эквиваленте составит 72 тыс. тонн в течение всего периода эксплуатации рудника.

В качестве попутной продукции при переработке сульфидных руд будет выпускаться молибденовый концентрат. Ориентировочное содержание молибдена в месторождении 115 тыс. тонн.

### 3.2 Изучение вещественного состава руды

В исследуемой пробе руды месторождения Актогай основным медьсодержащим минералом является халькопирит. Он характеризуется относительно равномерным распределением. Наиболее характерной формой выделения его являются вкрапления размером 0,003-1,0 мм. В обогащенных участках халькопирит образует гнездовидные выделения и скопления величиной 1,8-2,5 мм. Молибденит образует единичные пластинки (0,001-0,1 мм) в кварцевых, хлорит-кварц-калишпатовых и калишпатовых прожилках. Корродируется блеклой рудой, обрастает зернами халькопирита. Кварц-молибденитовые прожилки секутся прожилками позднего карбоната.

В таблице 5 приведены результаты фазового анализа исследуемой пробы руды.

Таблица 5 – Фазовый анализ руды месторождения Актогай

Фазы	Содержание	
	абсолютное	относительное
<i>Медь:</i>		
Халькопирит	0,25	73,5
Борнит	0,03	8,8
Халькозин	0,05	14,7
Окисленная	0,01	3,0
Общая	0,34	100,0
<i>Молибден:</i>		
Сульфидный	0,0096	96,0
Окисленный	0,0004	4,0
Общий	0,01	100,0

По результатам химического анализа в исследуемой пробе руды месторождения Актогай содержится 0,009 % молибдена; 0,4 % меди; 0,58 % серы; 5,2 % железа; 4,6 % CaO; 16,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 55,7 % SiO<sub>2</sub>; 4,6 % MgO; 0,27 % Ti.

Проведен ИКС-анализ руды. Спектры получены на ИК-Фурье спектрометре «Avatar 370» в спектральном диапазоне 4000-250 см<sup>-1</sup> от препаратов в виде суспензии на вазелиновом масле в окнах KRS-5, в качестве спектра сравнения снят спектр вазелинового масла. Приставка для экспериментов: Transmission E.S.P.

По результатам анализа (рисунок 7) в пробе содержатся:

Олигоклаз (OLIGOCLASE) - (Ca<sub>0.1-0.3</sub>, Na<sub>0.9-0.7</sub>) (Al, Si) Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> – 1006, 761, 645, 586, 464, 432 см<sup>-1</sup> [39, 40].

Альбит Na[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>] – 761, 743п, 725п, 645, 609п, 586, 533, 464, 432 см<sup>-1</sup> [39, 40].

Ортоклаз (ORTHOCLASE)–K[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]–1032, 761, 725п, 645, 586, 432 см<sup>-1</sup> [39,40].

Кварц  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> – 1086, 797, 778, 695, 516, 464, 397, 374 см<sup>-1</sup> [39, 40, 41].

Возможно, присутствует пирит FeS<sub>2</sub> – 347 см<sup>-1</sup> [42].

В высокочастотной области в диапазоне проявления валентных колебаний  $\nu$ ОН зафиксированы полосы поглощения с максимумами при волновых числах - 3564, 3491 см<sup>-1</sup>. Полоса поглощения при 3564 см<sup>-1</sup> может быть отнесена к валентным колебаниям  $\nu$ ОН минерала из группы хлоритов [39,40]. Полоса поглощения с максимумом при 3491 см<sup>-1</sup> может соответствовать прениту Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub> [(OH)<sub>2</sub> | Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>] и алунисту KAl<sub>3</sub>[(OH)<sub>6</sub>|(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] [39, 40].

Полосы при волновых числах 340п, 279, 266 см<sup>-1</sup> попадают в диапазон проявления характеристических полос поглощения полиэдров FeO<sub>6</sub> -350-250 см<sup>-1</sup>; MgO<sub>6</sub>-400-300 см<sup>-1</sup> [43].

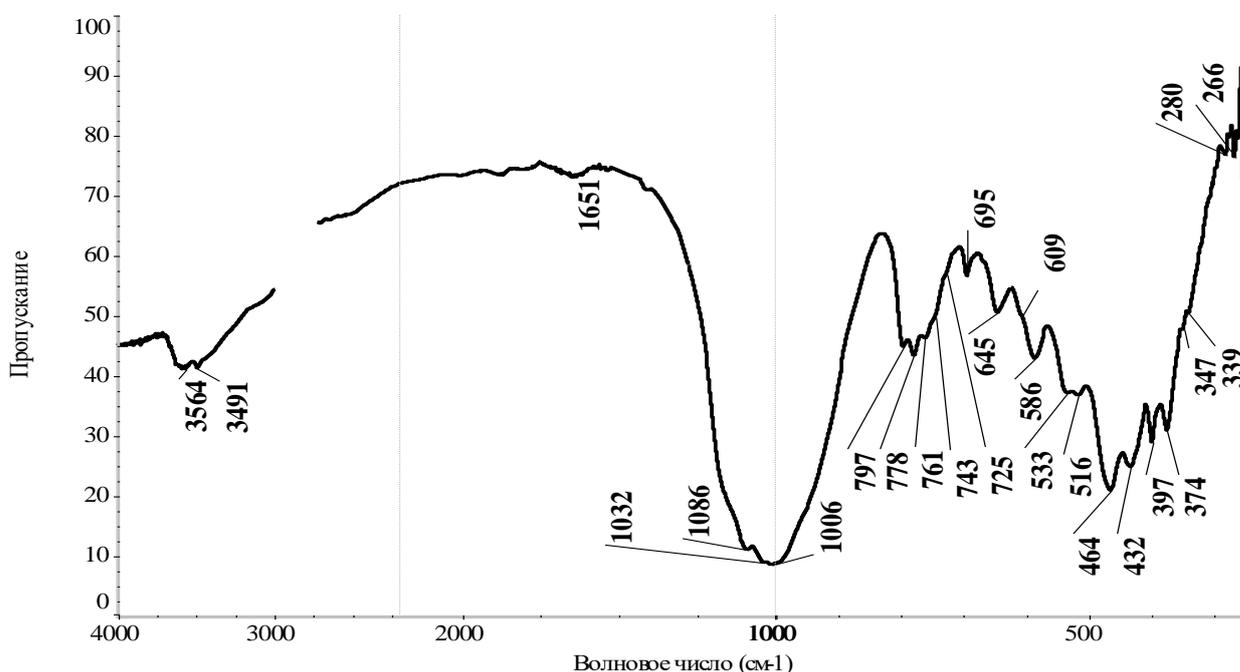


Рисунок 7 – Инфракрасный спектр исходной пробы руды Актогайского месторождения

Проведен атомно-эмиссионный качественный спектральный анализ, который показал, что в руде присутствуют:

Si – много	Cu – 0,1 %
Mg - много	Mn – 0,1 %
Al - много	Au – н/о
Na – много	Cr – 0.01 %
Fe – 1 %	V - 0,01 %
Ca – 0,1 %	Ag - 0,001 %
Ti – 0,1 %	
Mo - 0,1 %	

Проведен рентгенофазовый анализ пробы руды. Диафрагмы образцов производились на аппарате D8 Advance (Bruker),  $\alpha$  – Cu, напряжение на трубке 40/40. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA.

Результаты рентгенофазового анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты рентгенофазового анализа исходной пробы руды Шатыркольского месторождения

Compound Name	Formula	S-Q
Quartz, syn	SiO <sub>2</sub>	34,1
Albite, calcian, ordered	(Na,Ca)Al(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	18,7
Anorthite, sodian, intermediate	(Ca,Na)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	15,0
Clinochlore-2MIIb	Mg <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	12,9
Glagolevite	NaMg <sub>6</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,O) <sub>8</sub> ·H <sub>2</sub> O	4,4
Graphite, syn	C	3,0
Ferrierite	(Na,K,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>18</sub> O <sub>36</sub> ·9H <sub>2</sub> O	2,7
Nepheline, potassian, syn	(K,Na)AlSiO <sub>4</sub>	2,6
Illite-2M1 (NR)	(K,H <sub>3</sub> O)Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2,2
Muscovite-1M, syn	KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2,1
Aegirine-augite	(Na,Ca)Fe+3Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	2,0
Fluoro-arfvedsonite, manganooan lithian potassian	Na <sub>3</sub> (Fe,Mn,Mg) <sub>4</sub> FeSi <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (F,OH) <sub>2</sub>	

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

Результаты ситового анализа дробленной руды представлены в таблице 7 и на рисунках 7 и 8.

Таблица 7 – Ситовой анализ дробленной руды

Классы крупности, мм	Номинальный размер отверстия, мм	Выход, %	Суммарный выход, %	Суммарный выход, %
-2,5+1	2,5	31,25	0	100
-1,0+0,5	1,0	29,5	31,25	68,75
-0,5+0,2	0,5	18,2	60,75	39,25
-0,2+0,1	0,2	7,5	78,95	21,05
-0,1+0,071	0,1	3,95	86,45	13,55
-0,071+0,05	0,071	5,0	90,40	9,6
-0,05	0,05	4,6	95,40	4,6
0	0	0	100	0
Исходный продукт	-	100,0	-	-

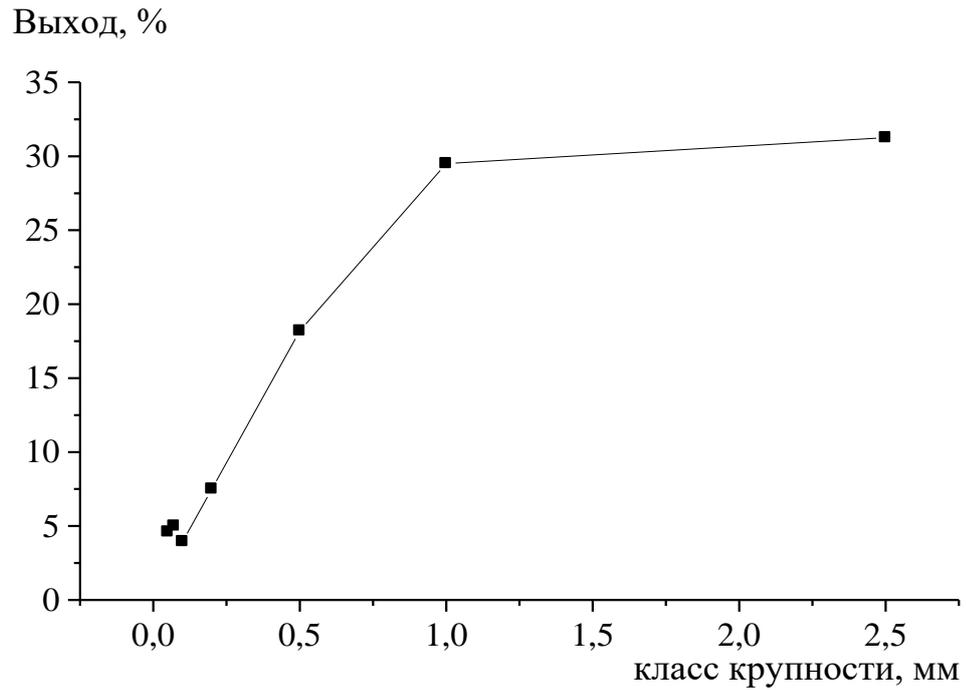


Рисунок 7 – Частная характеристика крупности дробленой руды месторождения Актогай по выходам отдельных классов

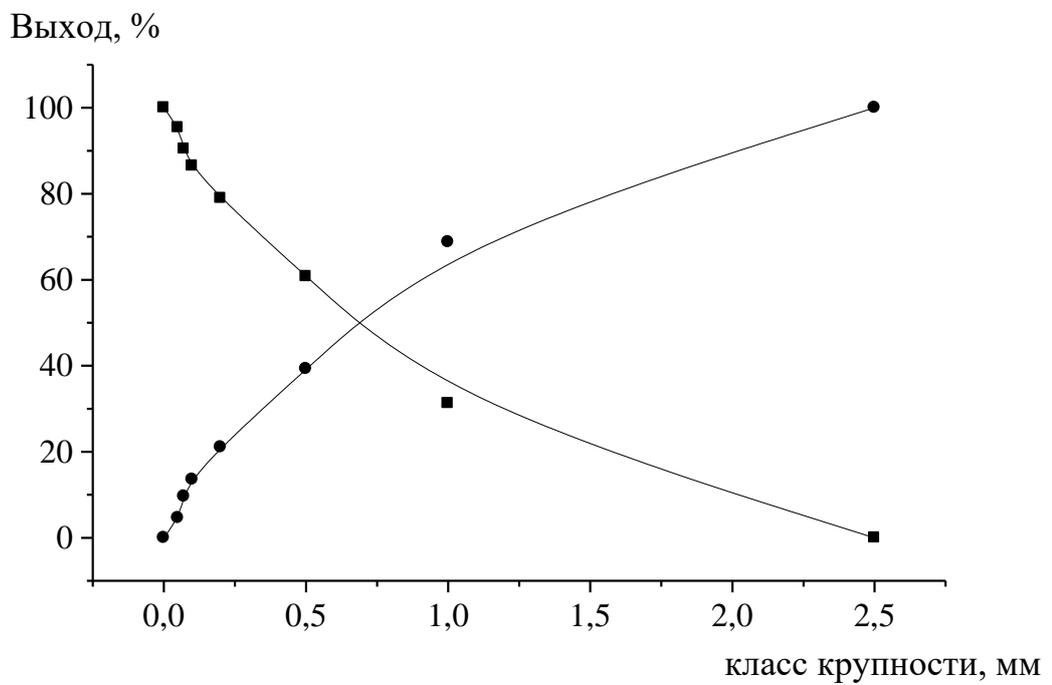


Рисунок 8 – Суммарная характеристика крупности дробленой руды Актогайского месторождения

В каждом классе крупности определяли содержание и распределение меди и молибдена. Данные представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Распределение полезных компонентов в дробленой руде

Класс крупн., мм	Выход, %	Содержание, %		Распределение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
-2,5+1	31,25	0,36	0,008	26,99	16,48
-1,0+0,5	29,5	0,34	0,02	24,06	38,89
-0,5+0,2	18,2	0,42	0,014	18,34	16,80
-0,2+0,1	7,5	0,48	0,018	8,64	8,90
-0,1+0,071	3,95	0,66	0,015	6,25	3,91
-0,071+0,05	5,0	0,51	0,018	6,12	5,93
-0,05	4,6	0,87	0,03	9,60	9,10
Исх. руда	100	0,417	0,015	100,0	100,0

Из результатов таблицы 8 видно, что около половины меди (51,05 %) и молибдена (55,37 %) в дробленой руде находится в более крупных классах - 2,5+0,5 мм. Для определения гранулометрического состава измельченной руды проводился дисперсионный анализ, результаты которого приводятся в таблице 9. Руду измельчали до 90 % класса -0,071 мм. Показано, что большая часть меди и молибдена при таком измельчении (75-77 %) распределяется по классам +50 мкм и -20 мкм. В классе крупности + 50 мкм содержится 28,69 % меди и 29,19 % молибдена; в классе -20 мкм находится 41,31 % меди и 47,99 % молибдена.

Таблица 9 – Гранулометрический состав измельченной руды

Класс крупн. мкм	Выход, %	Содержание, %		Распределение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
+60	18,6	0,33	0,015	18,15	20,08
-60+50	11,5	0,31	0,011	10,54	9,11
-50+40	10,4	0,42	0,014	12,92	10,48
-40+30	6,5	0,46	0,013	8,84	6,08
-30+20	8,7	0,32	0,01	8,23	6,26
-20+10	21,6	0,3	0,013	19,16	20,21
-10+0	22,7	0,33	0,017	22,15	27,78
Исх. руда	100	0,338	0,0139	100	100

Был определен удельный вес исходной руды, который составил 2,94 г/см<sup>3</sup>.

Для лабораторного определения измельчаемости руды проба дробилась на лабораторной щековой дробилке до крупности -2,5+0 мм и измельчалась в лабораторной шаровой мельнице. Результаты представлены на рисунке 9.

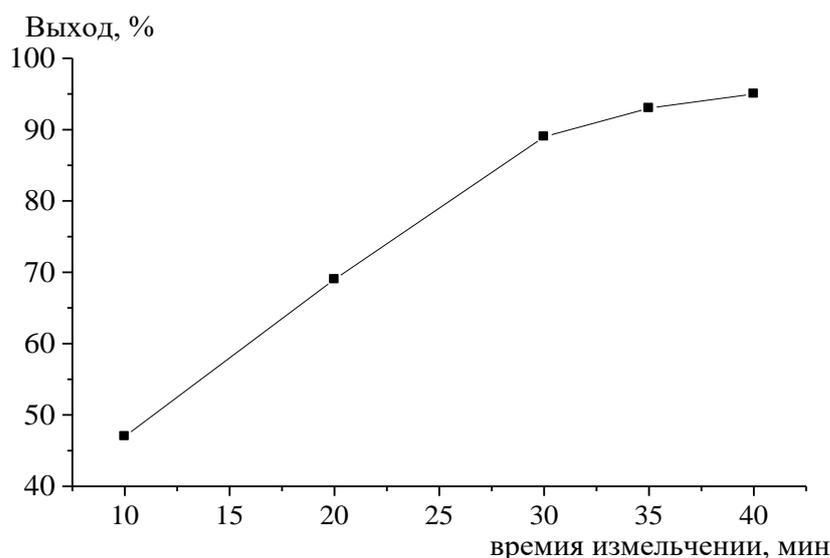


Рисунок 9 – Кинетика измельчения исходной руды месторождения Актогай

### 3.3 Определение оптимального реагентного режима флотации руды в цикле коллективной медно-молибденовой флотации

В цикле коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай проводились опыты по установлению оптимальной степени измельчения и реагентного режима, необходимого для получения коллективного медно-молибденового концентрата. Схема коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай представлена на рисунке 10.

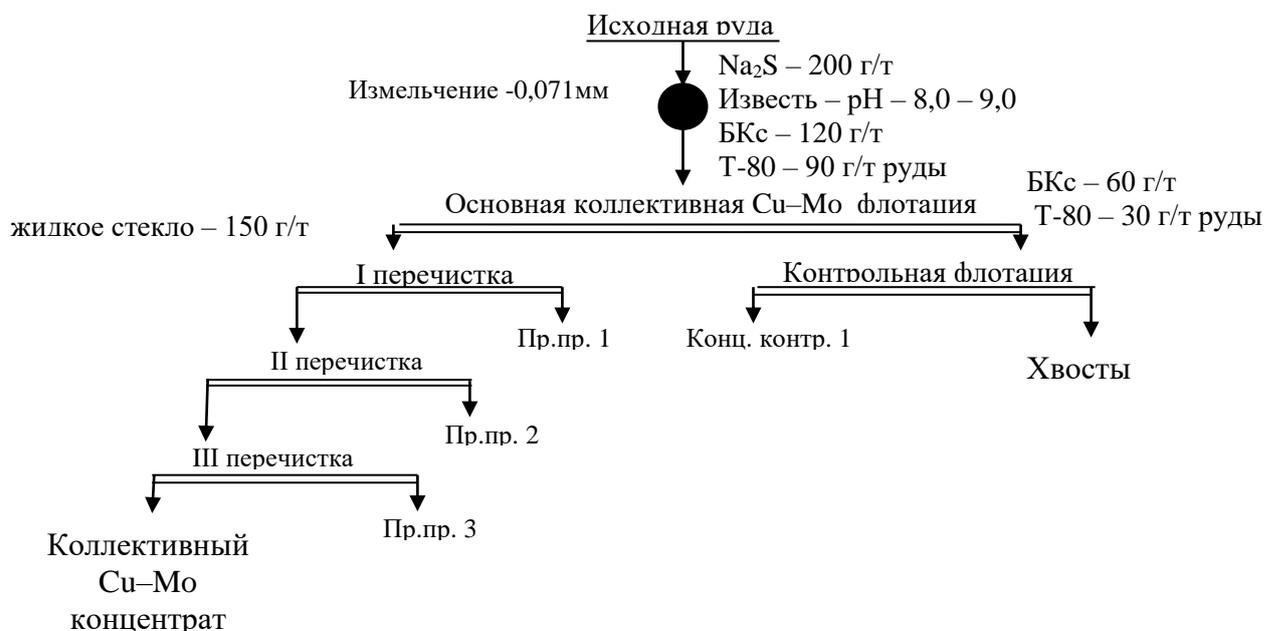


Рисунок 10 – Схема коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай

Коллективный цикл состоял из основной и контрольной коллективной медно-молибденовой флотации и трех перечисток коллективного медно-молибденового концентрата.

В процесс измельчения подавали известь для создания рН среды равной 8,0-9,0; сульфид натрия для сульфидизации минералов.

Основную коллективную медно-молибденовую флотацию проводили в течение 16 минут, контрольную в течение 7 минут и использовали следующие реагенты в качестве собирателя – бутиловый ксантогенат натрия; вспенивателя – Т-80. Во все перечистки добавляли жидкое стекло для депрессии минералов пустой породы.

Исследования по установлению оптимальной степени измельчения исходной руды показали, что наилучшие показатели достигнуты при измельчении 94 % класса -0,071 мм (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты коллективной медно-молибденовой флотации в зависимости от разной степени измельчения

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
Си-Мо концентрат	1,6	11,56	0,29	50,70	44,09	90 % кл. -0,071 мм
Пр. пр. 1	3,2	1	0,02	8,8	6,08	
Пр. пр. 2	2,6	1,3	0,04	9,3	9,88	
Пр. пр. 3	1,3	2,4	0,07	8,6	8,65	
Конц. контр. флот.	2,7	1,1	0,04	8,1	10,26	
Хвосты	88,6	0,06	0,0025	14,6	21,05	
Исходная руда	100,0	0,36	0,0105	100,0	100,0	
Си-Мо концентрат	1,7	14,2	0,3	62,13	50,89	92 % кл. -0,071мм
Пр. пр. 1	2,1	1	0,03	5,41	6,29	
Пр. пр. 2	1,7	1,3	0,036	5,69	6,11	
Пр. пр. 3	1	2,4	0,08	6,18	7,98	
Конц. контр. флот.	2,3	1,1	0,03	6,51	6,89	
Хвосты	91,2	0,06	0,0024	14,08	21,84	
Исходная руда	100	0,39	0,010	100	100	
Си-Мо концентрат	1,5	<b>18,6</b>	<b>0,35</b>	<b>70,15</b>	<b>50,28</b>	<b>94 % кл. -0,071 мм</b>
Пр. пр. 1	1,8	0,8	0,04	3,62	6,90	
Пр. пр. 2	1,6	1,1	0,05	4,43	7,66	
Пр. пр. 3	1,1	2,4	0,12	6,64	12,64	
Конц. контр. флот.	1,4	1	0,029	3,52	3,89	
Хвосты	92,6	0,05	0,0021	11,64	18,63	
Исходная руда	100	0,40	0,010	100	100	
Си-Мо концентрат	1,6	17,8	0,34	69,46	49,33	96 % кл. -0,071 мм
Пр. пр. 1	2,1	0,78	0,05	4,00	9,52	
Пр. пр. 2	1,5	1	0,06	3,66	8,16	
Пр. пр. 3	1	2,5	0,11	6,10	9,98	
Конц. контр. флот.	1,1	1,2	0,02	3,22	2,00	
Хвосты	92,7	0,06	0,0025	13,57	21,02	
Исходная руда	100	0,41	0,011	100	100	

При расходе бутилового ксантогената натрия 120 г/т получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 18,6 % при извлечении 70,15 % и содержанием молибдена 0,35 % при извлечении молибдена 50,28 %.

Далее проводились исследования по определению оптимального расхода бутилового ксантогената натрия в коллективной цикле флотации. Результаты коллективной медно-молибденовой флотации в зависимости от разного расхода бутилового ксантогената представлены в таблице 11. Расход бутилового ксантогената варьировался от 100 до 160 г/т.

Таблица 11 – Результаты коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай в зависимости от разного расхода бутилового ксантогената

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
Си-Мо концентрат	1,4	<b>19,2</b>	<b>0,36</b>	<b>65,82</b>	<b>46,58</b>	БКс – 100 г/т
Пр. пр. 1	1,7	0,9	0,05	3,75	7,86	
Пр. пр. 2	1,4	1,3	0,06	4,46	7,76	
Пр. пр. 3	1,0	2,6	0,13	6,37	12,01	
Конц. контр. флот.	1,5	1	0,031	3,67	4,30	
Хвосты	93,0	0,07	0,0025	15,94	21,49	
Исходная руда	100	0,408	0,0108	100	100	
Си-Мо концентрат	1,5	<b>18,6</b>	<b>0,35</b>	<b>70,15</b>	<b>50,28</b>	БКс – 120 г/т
Пр. пр. 1	1,8	0,8	0,04	3,62	6,90	
Пр. пр. 2	1,6	1,1	0,05	4,43	7,66	
Пр. пр. 3	1,1	2,4	0,12	6,64	12,64	
Конц. контр. флот.	1,4	1	0,029	3,52	3,89	
Хвосты	92,6	0,05	0,0021	11,64	18,63	
Исходная руда	100	0,40	0,010	100	100	
Си-Мо концентрат	1,6	<b>21,1</b>	<b>0,37</b>	<b>77,66</b>	<b>53,45</b>	БКс – 140 г/т
Пр. пр. 1	1,9	0,7	0,04	3,06	6,86	
Пр. пр. 2	1,7	1	0,06	3,91	9,21	
Пр. пр. 3	1,2	1,8	0,1	4,97	10,83	
Конц. контр. флот.	1,6	1,1	0,021	4,05	3,03	
Хвосты	92	0,03	0,002	6,35	16,61	
Исходная руда	100	0,435	0,0111	100	100	
Си-Мо концентрат	1,7	<b>19,8</b>	<b>0,35</b>	<b>78,14</b>	<b>51,20</b>	БКс – 160 г/т
Пр. пр. 1	1,8	0,6	0,05	2,51	7,74	
Пр. пр. 2	1,9	0,9	0,05	3,97	8,17	
Пр. пр. 3	1,3	1,6	0,12	4,83	13,42	
Конц. контр. флот.	1,8	1	0,024	4,18	3,72	
Хвосты	91,5	0,03	0,002	6,37	15,75	
Исходная руда	100	0,431	0,0116	100	100	

Результаты таблицы 11 показывают, что оптимальным расходом бутилового ксантогената натрия в коллективном цикле флотации является 140 г/т. При этом получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 21,1 % при извлечении 77,66 % и с содержанием молибдена 0,37 % при извлечении 53,45 %.

Далее изучалось влияние на извлечение меди и молибдена в коллективный медно-молибденовый концентрат собирателя Z-200 вместо бутилового ксантогената натрия. Флотореагент Z-200 представляет собой N-аллил-о-изопропилтионокарбамат и используется для флотации сульфидных полиметаллических медно-свинцово-цинковых и медно-молибденовых руд. В отличие от бутилового ксантогената Z-200 является более селективным собирателем при меньшем расходе.

Исследования в коллективном цикле проводились при расходе Z-200 - от 30 до 60 г/т. Результаты коллективной медно-молибденовой флотации в зависимости от разного расхода Z-200 в сравнении с бутиловым ксантогенатом представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай в зависимости от разного расхода Z-200

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
1	2	3	4	5	6	7
Си-Мо концентрат	1,6	<b>21,1</b>	<b>0,37</b>	<b>77,66</b>	<b>53,45</b>	БКс – 140 г/т
Пр. пр. 1	1,9	0,7	0,04	3,06	6,86	
Пр. пр. 2	1,7	1	0,06	3,91	9,21	
Пр. пр. 3	1,2	1,8	0,1	4,97	10,83	
Конц. контр. флот.	1,6	1,1	0,021	4,05	3,03	
Хвосты	92	0,03	0,002	6,35	16,61	
Исходная руда	100	0,435	0,0111	100	100	
Си-Мо концентрат	1,4	<b>22,9</b>	<b>0,38</b>	<b>76,38</b>	<b>46,97</b>	Z-200 – 30 г/т
Пр. пр. 1	1,7	0,6	0,03	2,43	4,50	
Пр. пр. 2	1,5	0,8	0,04	2,86	5,30	
Пр. пр. 3	0,9	1,4	0,09	3,00	7,15	
Конц. контр. флот.	1,8	1	0,021	4,29	3,34	
Хвосты	92,7	0,05	0,004	11,04	32,74	
Исходная руда	100	0,420	0,0113	100	100	
Си-Мо концентрат	1,5	<b>23,1</b>	<b>0,55</b>	<b>77,49</b>	<b>59,63</b>	Z-200 – 40 г/т
Пр. пр. 1	1,7	0,8	0,04	3,04	4,91	
Пр. пр. 2	1,6	0,8	0,05	2,86	5,78	
Пр. пр. 3	1,1	1,5	0,07	3,69	5,57	
Конц. контр. флот.	1,9	1,1	0,03	4,67	4,12	
Хвосты	92,2	0,04	0,003	8,25	19,99	

Исходная руда	100	0,447	0,0138	100	100	
Си-Мо концентрат	1,5	<b>23,9</b>	<b>0,65</b>	<b>83,34</b>	<b>68,60</b>	<b>Z-200 – 50 г/т</b>
Пр. пр. 1	1,9	0,6	0,05	2,65	6,68	
Пр. пр. 2	1,7	0,8	0,05	3,16	5,98	
Пр. пр. 3	1,1	1,4	0,1	3,58	7,74	
Конц. контр. флот.	0,8	1	0,021	1,86	1,18	
Хвосты	93	0,025	0,0015	5,41	9,81	
Исходная руда	100	0,430	0,0142	100	100	
Си-Мо концентрат	1,6	<b>23,7</b>	<b>0,66</b>	<b>82,62</b>	<b>67,73</b>	<b>Z-200 – 60 г/т</b>
Пр. пр. 1	2	0,7	0,05	3,05	6,41	
Пр. пр. 2	1,8	0,9	0,06	3,53	6,93	
Пр. пр. 3	1,2	1,2	0,12	3,14	9,24	
Конц. контр. флот.	1,1	1,1	0,02	2,64	1,41	
Хвосты	92,3	0,025	0,0014	5,03	8,29	
Исходная руда	100	0,459	0,0156	100	100	

При оптимальном расходе Z-200 50 г/т получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 23,9 % при извлечении 83,34 % и с содержанием молибдена 0,65% при извлечении 68,6 %.

Наработка коллективного медно-молибденового концентрата для цикла селекции проводилась с применением собирателя Z-200.

Опыт отечественной и зарубежной практики по флотационному разделению медно-молибденовых концентратов свидетельствует, что основными реагентами депрессорами сульфидов меди и пирита являются гидросульфид и сульфид натрия. Их применение обеспечивает получение достаточно высоких технологических показателей разделения, но при весьма высоком расходе (10-15 кг/т исходного питания) и тщательном контроле процесса [44].

### **3.4 Отработка технологии селекции коллективного медно-молибденового концентрата**

Выполнена работа по отработке технологии селекции коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, с применением базовых реагентов, в качестве которых применялись сульфид натрия, керосин, жидкое стекло, Т-80 и метода пропарки. Схема селекции и реагентный режим представлены на рисунке 11.

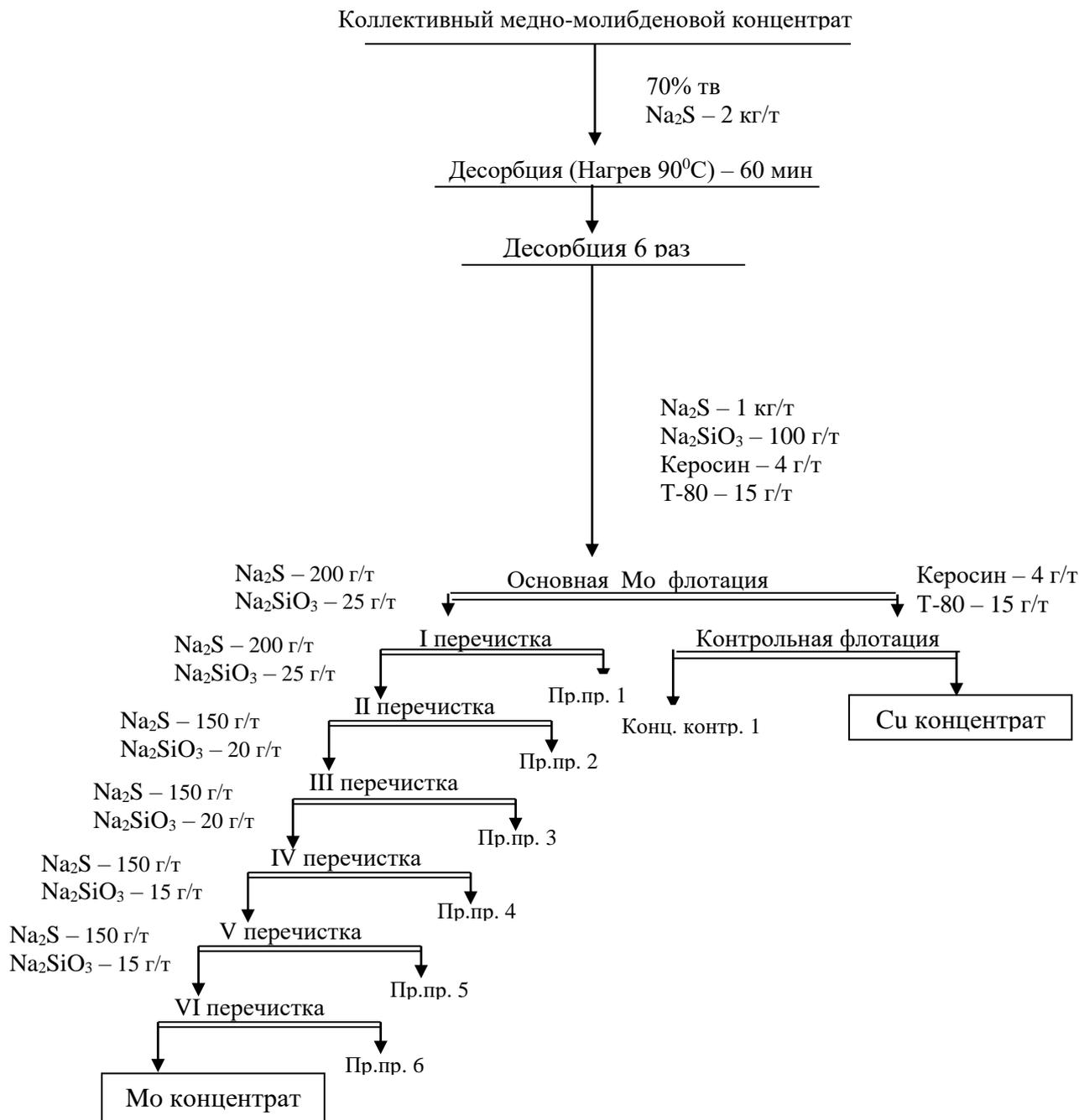


Рисунок 11 – Схема селективной флотации коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай

Цикл селекции включал десорбцию коллективного концентрата методом пропарки с сернистым натрием при температуре 85-90<sup>0</sup>С, отмывку, основную, контрольную молибденовую флотацию и шесть перечисток молибденового концентрата. Во всех операциях селективной флотации рН среды составлял 8,5-9,0. В качестве собирателя применяли керосин, депрессора – сернистый натрий и жидкое стекло, вспенивателя – Т-80. Доизмельчение в данной схеме не применялось. Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением базовых реагентов без доизмельчения приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением базовых реагентов без доизмельчения

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
Mo концентрат	6,7	<b>13,9</b>	<b>9,1</b>	<b>4,0</b>	<b>77,2</b>
Cu концентрат	56,5	23,8	<b>0,1</b>	<b>58,3</b>	<b>7,2</b>
Пром. продукт 1	10	23,8	0,1	10,3	1,3
Пром. продукт 2	3,5	24,2	0,2	3,7	0,9
Пром. продукт 3	5,2	22,8	0,25	5,1	1,6
Пром. продукт 4	3,3	21,7	0,35	3,1	1,5
Пром. продукт 5	3,6	22,7	0,9	3,5	4,1
Пром. продукт 6	2,6	23,8	1,8	2,7	5,9
Конц. контр. флот.	8,6	24,9	0,03	<b>9,3</b>	0,3
Коллект. концентрат	100	23,08	0,79	100	100

В результате выполненных исследований показано, что без применения доизмельчения коллективного медно-молибденового концентрата не удастся получить удовлетворительного качества молибденового и медного концентратов. При этом получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 9,1 % при извлечении 77,2 % и медный концентрат с содержанием меди 23,8 % при извлечении 58,3 %.

Далее проведены исследования с применением доизмельчения коллективного медно-молибденового концентрата после десорбции перед основной молибденовой флотацией.

Доизмельчение велось до 95 % класса -0,074 мм. Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением одного доизмельчения приведены в таблице 14. Схема селекции представлена на рисунке 12.

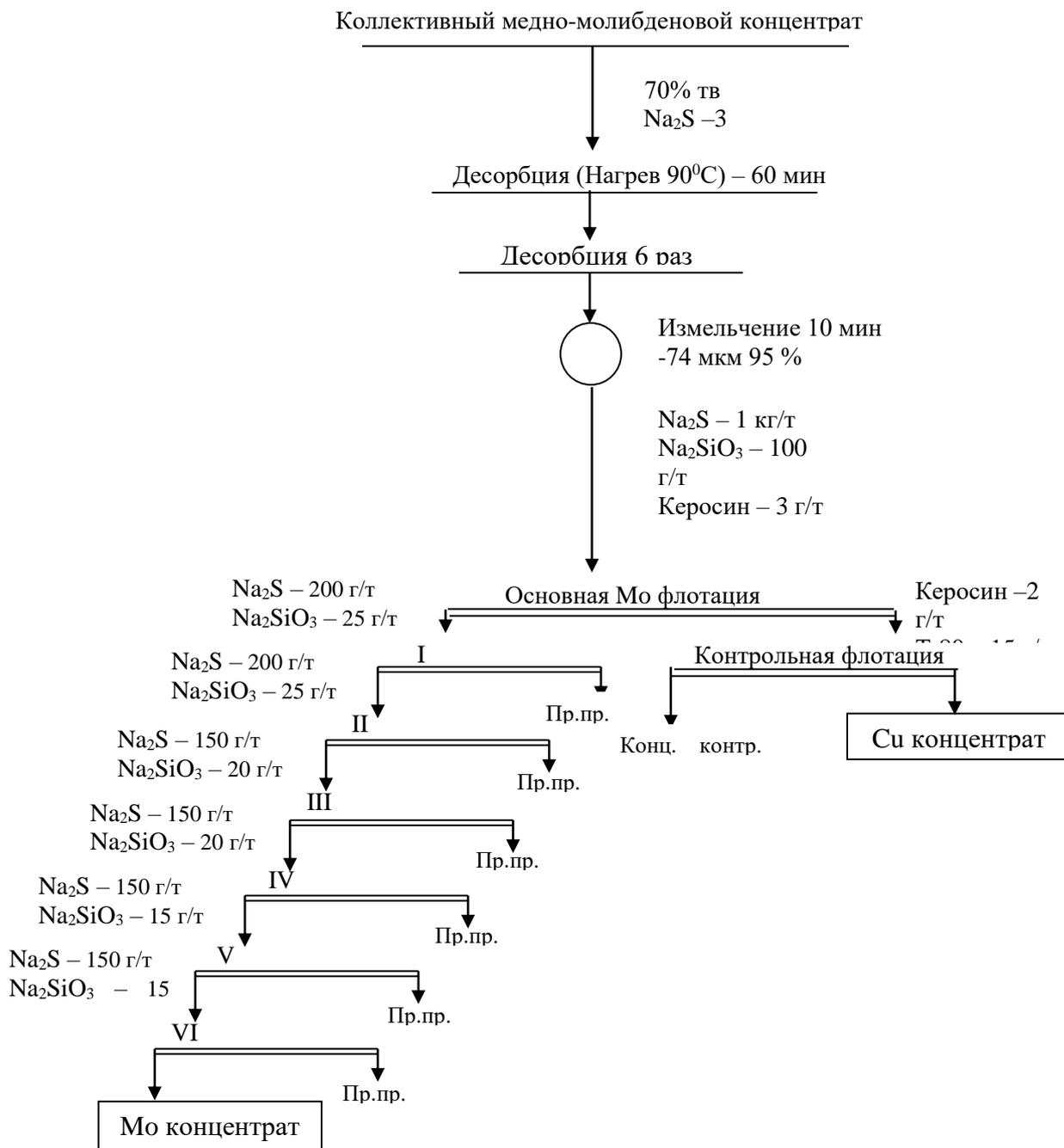


Рисунок 12 – Схема селективной флотации коллективного медно-молибденового концентрата с применением одного доизмельчения

Результаты таблицы 14 показывают, что с применением одного доизмельчения коллективного медно-молибденового концентрата перед основной молибденовой флотацией получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 23,7 % при извлечении 70,9 % и медный концентрат с содержанием меди 24,1 % при извлечении 59,2 %.

Таблица 14 – Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением одного доизмельчения

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
Mo концентрат	2	<b>8,5</b>	<b>23,7</b>	<b>0,7</b>	<b>70,9</b>
Cu концентрат	56,7	24,1	<b>0,06</b>	<b>59,2</b>	<b>5,1</b>
Пром. продукт 1	9,4	23,7	0,06	9,6	0,8
Пром. продукт 2	7,6	21,8	0,09	7,2	1,0
Пром. продукт 3	5,7	21,7	0,15	5,4	1,3
Пром. продукт 4	4,2	21,5	0,45	3,9	2,8
Пром. продукт 5	3,8	21,6	1,3	3,6	7,4
Пром. продукт 6	3,1	17,6	2,1	2,4	9,7
Конц. контр. флот.	7,5	24,9	0,08	8,1	0,9
Коллект. концентрат	100	23,09	0,67	100	100

Проведены исследования по изучению влияния расхода сульфида натрия на извлечение молибдена и меди, а также на повышение качества концентратов. Реагентный режим показано на таблице 15.

Таблица 15 – Реагентный режим селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением сульфида натрия

	Расход сульфид натрия, г/т			
	1000	2000	3000	4000
Чан	1000	2000	3000	4000
Осн. Mo флот	1000	1000	1000	1000
I перечистка	200	200	200	200
II перечистка	200	200	200	200
III перечистка	150	150	150	150
IV перечистка	150	150	150	150
V перечистка	150	150	150	150
VI перечистка	150	150	150	150
Итого	3000	4000	5000	6000

Различный расход сульфида натрия подавался в контактный чан. Расход варьировался от 3000 до 6000 г/т. Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением сульфида натрия приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением сульфида натрия

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
1	2	3	4	5	6

3000 г/т					
Мо концентрат	5,8	<b>17,6</b>	<b>8,6</b>	<b>4,5</b>	<b>71,9</b>
Си концентрат	56,5	<b>23,4</b>	<b>0,05</b>	<b>57,9</b>	<b>4,1</b>
Пром. продукт 1	6,5	23,1	0,07	6,6	0,7
Пром. продукт 2	5,3	23,3	0,3	5,4	2,3
Пром. продукт 3	5,1	22,5	0,31	5,0	2,3
Пром. продукт 4	4,8	22,1	0,5	4,6	3,5
Пром. продукт 5	4,1	21,9	1	3,9	5,9
Пром. продукт 6	3,3	21,7	1,2	3,1	5,7
Конц. контр. флот.	8,6	23,8	0,3	<b>9,0</b>	3,7
Коллект. концентрат	100	22,85	0,69	100	100
4000 г/т					
Мо концентрат	2	<b>8,5</b>	<b>23,7</b>	<b>0,7</b>	<b>70,9</b>
Си концентрат	56,7	<b>24,1</b>	<b>0,06</b>	<b>59,2</b>	<b>5,1</b>
Пром. продукт 1	9,4	23,7	0,06	9,6	0,8
Пром. продукт 2	7,6	21,8	0,09	7,2	1,0
Пром. продукт 3	5,7	21,7	0,15	5,4	1,3
Пром. продукт 4	4,2	21,5	0,45	3,9	2,8
Пром. продукт 5	3,8	21,6	1,3	3,6	7,4
Пром. продукт 6	3,1	17,6	2,1	2,4	9,7
Конц. контр. флот.	7,5	24,9	0,08	8,1	0,9
Коллект. концентрат	100	23,09	0,67	100	100
5000 г/т					
Мо концентрат	0,9	<b>1,5</b>	<b>45,4</b>	<b>0,06</b>	<b>59,5</b>
Си концентрат	87,5	<b>24,1</b>	<b>0,07</b>	<b>89,1</b>	<b>8,9</b>
Пром. продукт 1	2,8	22,6	0,5	2,7	2,0
Пром. продукт 2	2,1	22,1	1,1	2,0	3,4
Пром. продукт 3	1,6	21,9	2,1	1,5	4,9
Пром. продукт 4	1,3	21,7	2,5	1,2	4,7
Пром. продукт 5	0,7	21,9	6,3	0,6	6,4
Пром. продукт 6	0,4	20,3	10,5	0,3	6,1
Конц. контр. флот.	2,7	22,7	1	2,6	3,9
Коллект. концентрат	100	23,68	0,69	100	100
6000 г/т					
Мо концентрат	0,9	<b>1,3</b>	<b>45,9</b>	<b>0,05</b>	<b>58,4</b>
Си концентрат	87,3	<b>24,3</b>	<b>0,06</b>	<b>89,20</b>	<b>7,4</b>
Пром. продукт 1	3,1	22,4	0,7	2,92	3,1
Пром. продукт 2	2,2	21,8	1,4	2,02	4,4
Пром. продукт 3	1,8	21,7	2,3	1,64	5,9
Пром. продукт 4	1,4	21,1	3,2	1,24	6,3
Пром. продукт 5	0,6	20,8	6,5	0,52	5,5
Пром. продукт 6	0,5	20,6	9,8	0,43	6,9
Конц. контр. флот.	2,2	21,3	0,7	1,97	2,2
Коллект. концентрат	100	23,78	0,71	100	100

Результаты таблицы 16 показывают, что с применением разных расходов сульфид натрия коллективного концентрата получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 45,4 % при извлечении 59,5 % и медный концентрат с содержанием меди 24,1 % при извлечении 89,1 %. Далее проведены исследования на определение оптимального расхода керосина для флотации молибденового концентрата по схеме с двумя доизмельчениями. Результаты селекции с применением разного расхода керосина приведены в таблице 17.

Результаты исследований (таблица 17) показали, что при оптимальном расходе керосина 5 г/т коллективного концентрата получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 45,4 % при извлечении 59,5 % и медный концентрат с содержанием меди 24,1 % при извлечении 89,1 %.

Таблица 17 – Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением разного расхода керосина

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Mo	Cu	Mo	Cu	
1	2	3	4	5	6	7
Mo концентрат	0,4	<b>1</b>	<b>47,6</b>	<b>0,02</b>	<b>31,3</b>	Керосин 0 г/т
Cu концентрат	90,2	24,1	<b>0,12</b>	<b>91,03</b>	<b>17,8</b>	
Пром. продукт 1	3,1	23,2	0,7	3,01	3,6	
Пром. продукт 2	1,6	23,1	1,8	1,55	4,7	
Пром. продукт 3	1,3	22,7	5,9	1,24	12,6	
Пром. продукт 4	1,1	22,8	6,8	1,05	12,3	
Пром. продукт 5	0,4	22,1	9,3	0,37	6,1	
Пром. продукт 6	0,3	21,8	12,4	0,27	6,1	
Конц. контр. флот.	1,6	21,8	2,1	1,46	5,5	
Коллект. концентрат	100	23,88	0,61	100	100	
Mo концентрат	0,6	<b>1,2</b>	<b>46,8</b>	<b>0,03</b>	<b>50,4</b>	Керосин 2 г/т
Cu концентрат	90,5	23,8	<b>0,08</b>	<b>91,48</b>	<b>13,0</b>	
Пром. продукт 1	2,6	23,2	0,6	2,56	2,8	
Пром. продукт 2	1,6	23,1	1,5	1,57	4,3	
Пром. продукт 3	1,2	22,9	3,6	1,17	7,8	
Пром. продукт 4	1,1	22,4	5,2	1,05	10,3	
Пром. продукт 5	0,4	22,1	6,3	0,38	4,5	
Пром. продукт 6	0,2	21,8	9,5	0,19	3,4	
Конц. контр. флот.	1,8	20,7	1,1	1,58	3,6	
Коллект. концентрат	100	23,54	0,56	100	100	
Mo концентрат	0,9	<b>1,5</b>	<b>45,4</b>	<b>0,06</b>	<b>59,5</b>	Керосин 5 г/т
Cu концентрат	87,5	<b>24,1</b>	<b>0,07</b>	<b>89,1</b>	<b>8,9</b>	
Пром. продукт 1	2,8	22,6	0,5	2,7	2,0	
Пром. продукт 2	2,1	22,1	1,1	2,0	3,4	
Пром. продукт 3	1,6	21,9	2,1	1,5	4,9	
Пром. продукт 4	1,3	21,7	2,5	1,2	4,7	
Пром. продукт 5	0,7	21,9	6,3	0,6	6,4	
Пром. продукт 6	0,4	20,3	10,5	0,3	6,1	

Конц. контр. флот.	2,7	22,7	1	2,6	3,9	Керосин 7 г/т
Коллект. концентрат	100	23,68	0,69	100	100	
Mo концентрат	0,9	<b>1,9</b>	<b>45,8</b>	<b>0,07</b>	<b>59,0</b>	
Cu концентрат	86,7	23,9	<b>0,07</b>	<b>88,10</b>	<b>8,7</b>	
Пром. продукт 1	3,1	23,1	0,6	3,04	2,7	
Пром. продукт 2	2	22,9	1	1,95	2,9	
Пром. продукт 3	1,8	22,7	1,9	1,74	4,9	
Пром. продукт 4	1,4	22,4	2,4	1,33	4,8	
Пром. продукт 5	0,8	22,1	6,1	0,75	7,0	
Пром. продукт 6	0,5	21,8	9,7	0,46	6,9	
Конц. контр. флот.	2,8	21,4	0,8	2,55	3,2	
Коллект. концентрат	100	23,52	0,70	100	100	

### *Выводы*

Определены оптимальные реагентные режимы флотации руды в цикле коллективной медно-молибденовой флотации. Схема коллективной медно-молибденовой флотации руды включала основную коллективную медно-молибденовую флотацию, контрольную флотацию и три перечистки коллективного концентрата. Исследования по установлению оптимальной степени измельчения исходной руды показали, что наилучшие показатели достигнуты при измельчении 94 % класса 0,05 мм. Оптимальным расходом бутилового ксантогената натрия в коллективном цикле флотации является 140 г/т. При этом получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 21,1 % при извлечении 77,66 % и с содержанием молибдена 0,37 % при извлечении 53,45 %.

Изучено влияние на извлечение меди и молибдена в коллективный медно-молибденовый концентрат собирателя Z-200 вместо бутилового ксантогената натрия. Флотореагент Z-200 представляет собой N-аллил-о-изопропилтионокарбамат. При оптимальном расходе Z-200 50 г/т получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 23,9 % при извлечении 83,34 % и с содержанием молибдена 0,65 % при извлечении 68,6 %. Нарботка коллективного медно-молибденового концентрата для цикла селекции проводилась с применением собирателя Z-200.

Отработана технология селекции коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, с применением базовых реагентов, в качестве которых применялись сульфид натрия, керосин, жидкое стекло и метода пропарки. По базовой технологии при оптимальном расходе керосина 5 г/т получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 45,4 % при извлечении 59,5 % и медный концентрат с содержанием меди 24,1 % при извлечении 89,1 %.

## **4 Разработка усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов**

### **4.1 Отработка технологии селекции коллективного медно-молибденового концентрата с применением модифицированного реагента**

В практике флотации молибденсодержащих руд наиболее широко применяются такие углеводородные масла, как керосин, трансформаторное, машинное масло, смазочные нефтяные масла, смолы и продукты переработки угля, древесины, смолы, сланца и торфа.

В качестве модифицированного реагента для флотации молибдена предлагается смесь дизельного топлива и нефти Арыскупского месторождения, обработанную ультразвуком. Ультразвуковые колебания можно использовать в качестве одного из методов интенсификации флотации. Ультразвук, влияя на процессы массообмена, способствует очистке поверхности минералов от гидрофильных покрытий, обеспечивает диспергацию реагентов, а в комбинированных технологиях ускоряет растворение обрабатываемых частиц, за счет вскрытия капиллярных каналов. Механизм массообмена в ультразвуковом поле достаточно сложен и в частности определяется кавитационными и акустическими воздействиями, способствующими флотации минералов [45].

Проведены работы по разработке усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов.

Для получения модифицированного собирателя использовали дизельное топливо и нефть Арыскупского месторождения. Арыскуп — нефтегазоконденсатное месторождение Казахстана, расположено в Жалагашском районе Кызыл-Ординской области, в 120 км к северу от железнодорожной станции Джусалы и в 320 км к западу от нефтепровода Омск-Павлодар-Шымкент.

Нефть оторочки имеет плотность 854 кг/м<sup>3</sup> и содержит серы — до 0,46 %, парафина — 9,7-27,2 %, асфальтенов и смол силикагелевых — до 16,65 %. Свободный газ состоит из — 93,86 % метана, 2,87 % этана, 1,36 % пропана, 0,65 % бутана, 0,65 %, 0,37 % пентанов+высших, 0,01 % гелия, 0,52 % азота + редких, следов сероводорода. Конденсат содержит парафина — 0,01-1,3 % и серы — 0,01-0,06 %.

Таким образом, в качестве модифицированного реагента применяли смесь дизельного топлива и нефти Арыскупского месторождения в соотношении 1:1 (реагент МФ-1).

Произведен подбор оптимального расхода модифицированного собирателя МФ-1. Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата месторождения Актогай в зависимости от различного расхода

МФ-1 в сравнении с базовой технологией (с керосином) представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата месторождения Актогай в зависимости от разного расхода модифицированного реагента МФ

Название пробы	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
Мо концентрат	0,9	<b>1,5</b>	<b>45,4</b>	<b>0,06</b>	<b>59,5</b>	Керосин 5 г/т
Си концентрат	87,5	<b>24,1</b>	<b>0,07</b>	<b>89,1</b>	<b>8,9</b>	
Пром. продукт 1	2,8	22,6	0,5	2,7	2,0	
Пром. продукт 2	2,1	22,1	1,1	2,0	3,4	
Пром. продукт 3	1,6	21,9	2,1	1,5	4,9	
Пром. продукт 4	1,3	21,7	2,5	1,2	4,7	
Пром. продукт 5	0,7	21,9	6,3	0,6	6,4	
Пром. продукт 6	0,4	20,3	10,5	0,3	6,1	
Конц. контр. флот.	2,7	22,7	1	2,6	3,9	
Коллект. концентрат	100	23,68	0,69	100	100	
Мо концентрат	0,7	<b>1,9</b>	<b>46,8</b>	<b>0,06</b>	<b>49,9</b>	МФ-1 - 3 г/т
Си концентрат	91,6	<b>23,9</b>	<b>0,1</b>	<b>92,21</b>	<b>13,9</b>	
Пром. продукт 1	2,6	24,8	0,8	2,72	3,2	
Пром. продукт 2	1,3	24,1	1,6	1,32	3,2	
Пром. продукт 3	1,1	23,7	5,5	1,10	9,2	
Пром. продукт 4	0,8	23,5	6,3	0,79	7,7	
Пром. продукт 5	0,3	23,1	9,7	0,29	4,4	
Пром. продукт 6	0,2	22,7	11,9	0,19	3,6	
Конц. контр. флот.	1,4	22,4	2,3	1,32	4,9	
Коллект. концентрат	100	23,74	0,66	100	100	
Мо концентрат	0,9	<b>1,6</b>	<b>46,7</b>	<b>0,06</b>	<b>60,7</b>	МФ-1 - 5 г/т
Си концентрат	87,9	<b>23,9</b>	<b>0,06</b>	<b>88,83</b>	<b>7,6</b>	
Пром. продукт 1	2,6	24,6	0,5	2,70	1,9	
Пром. продукт 2	2,4	24,1	0,8	2,45	2,8	
Пром. продукт 3	1,8	23,5	2,3	1,79	6,0	
Пром. продукт 4	1,4	23,4	3,9	1,39	7,9	
Пром. продукт 5	0,6	22,8	7,3	0,58	6,3	
Пром. продукт 6	0,2	22,1	12,6	0,19	3,6	
Конц. контр. флот.	2,2	21,7	1	2,02	3,2	
Коллект. концентрат	100	23,65	0,69	100	100	
Мо концентрат	1	<b>2,1</b>	<b>45,1</b>	<b>0,09</b>	<b>61,4</b>	МФ-1 - 7 г/т
Си концентрат	86,1	<b>23,4</b>	<b>0,06</b>	<b>86,80</b>	<b>7,0</b>	
Пром. продукт 1	3,2	24,5	0,4	3,38	1,7	
Пром. продукт 2	2,5	24,2	0,8	2,61	2,7	
Пром. продукт 3	2,2	23,7	2,1	2,25	6,3	
Пром. продукт 4	1,6	23,4	3,1	1,61	6,8	
Пром. продукт 5	1	22,9	5,3	0,99	7,2	
Пром. продукт 6	0,4	22,7	8,6	0,39	4,7	
Конц. контр. флот.	2	21,9	0,8	1,89	2,2	
Коллект. концентрат	100	23,21	0,73	100	100	

Результаты исследований (таблица 18) показывают, что с применением модифицированного реагента МФ-1 получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 46,7 % при извлечении 60,7 % и медный концентрат с содержанием меди 23,9 % при извлечении 88,83 %.

Далее изучено влияние на извлечение меди и молибдена применения модифицированного реагента смесь керосина и нефти Арыскупского месторождения (реагент МФ-2). Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата руды месторождения Актогай с применением модифицированного реагента (реагент МФ-2) в сравнении с базовым и модифицированными реагентами представлены в таблице 19.

В результате исследований показано, что совместное применение модифицированного реагента МФ-2, по сравнению с базовой технологией, позволяет увеличить извлечение молибдена на 4,2 %.

Таблица 19 – Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата месторождения Актогай с применением модифицированного реагента смесь керосина и нефти Арыскупского месторождения (реагент МФ-2)

Название пробы	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
1	2	3	4	5	6	7
Mo концентрат	0,9	<b>1,5</b>	<b>45,4</b>	<b>0,06</b>	<b>59,5</b>	Керосин 5 г/т
Cu концентрат	87,5	<b>24,1</b>	<b>0,07</b>	<b>89,1</b>	<b>8,9</b>	
Пром. продукт 1	2,8	22,6	0,5	2,7	2,0	
Пром. продукт 2	2,1	22,1	1,1	2,0	3,4	
Пром. продукт 3	1,6	21,9	2,1	1,5	4,9	
Пром. продукт 4	1,3	21,7	2,5	1,2	4,7	
Пром. продукт 5	0,7	21,9	6,3	0,6	6,4	
Пром. продукт 6	0,4	20,3	10,5	0,3	6,1	
Конц. контр. флот.	2,7	22,7	1	2,6	3,9	
Коллект. концентрат	100	23,68	0,69	100	100	
Mo концентрат	0,8	<b>1,6</b>	<b>45,9</b>	<b>0,06</b>	<b>56,0</b>	МФ-2 - 3 г/т
Cu концентрат	88,1	<b>23,5</b>	<b>0,06</b>	<b>89,05</b>	<b>8,1</b>	
Пром. продукт 1	3	23,7	0,5	3,06	2,3	
Пром. продукт 2	2,1	22,9	1,2	2,07	3,8	
Пром. продукт 3	1,3	22,6	2,3	1,26	4,6	
Пром. продукт 4	1,7	22,7	3,8	1,66	9,9	
Пром. продукт 5	0,4	21,9	5,9	0,38	3,6	
Пром. продукт 6	0,3	21,6	9,5	0,28	4,4	
Конц. контр. флот.	2,3	22,1	2,1	2,19	7,4	
Коллект. концентрат	100	23,25	0,66	100	100	
Mo концентрат	0,9	<b>1,8</b>	<b>46,3</b>	<b>0,07</b>	<b>63,7</b>	МФ-2 - 5 г/т
Cu концентрат	87,5	<b>24,2</b>	<b>0,05</b>	<b>89,02</b>	<b>6,7</b>	
Пром. продукт 1	3,1	23,7	0,6	3,09	2,8	
Пром. продукт 2	2,3	22,8	0,9	2,20	3,2	

Пром. продукт 3	1,5	22,1	1,9	1,39	4,4	
Пром. продукт 4	1,1	21,9	3,2	1,01	5,4	
Пром. продукт 5	0,5	21,8	6,2	0,46	4,7	
Пром. продукт 6	0,3	21,4	10,6	0,27	4,9	
Конц. контр. флот.	2,8	21,1	1	2,48	4,3	
Коллект. концентрат	100	23,79	0,65	100	100	
Mo концентрат	0,9	<b>1,9</b>	<b>45,1</b>	<b>0,08</b>	<b>63,9</b>	МФ-2 - 7 г/т
Си концентрат	87,9	<b>22,5</b>	<b>0,06</b>	<b>88,47</b>	<b>8,3</b>	
Пром. продукт 1	3	23,9	0,7	3,21	3,3	
Пром. продукт 2	2,4	23,7	1	2,54	3,8	
Пром. продукт 3	1,6	23,4	2,4	1,67	6,0	
Пром. продукт 4	1,1	23,4	2,9	1,15	5,0	
Пром. продукт 5	0,6	22,8	4,6	0,61	4,3	
Пром. продукт 6	0,2	21,6	6,7	0,19	2,1	
Конц. контр. флот.	2,3	20,1	0,9	2,07	3,3	
Коллект. концентрат	100	22,35	0,64	100	100	

По базовой технологии получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 45,4 % при извлечении 59,5 % и медный концентрат с содержанием меди 23,5 % при извлечении 89,05 %.

По технологии с применением модифицированного реагента МФ-2 получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 46,3 % при извлечении 63,7 % и медный концентрат с содержанием меди 24,2 % при извлечении 89,02 %.

#### **4.2 Проведение укрупненно-лабораторных испытаний технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов**

Проведены укрупненно-лабораторные испытания технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов.

Проведены исследования по коллективной медно-молибденовой флотации руды с применением базовых флотореагентов в замкнутом цикле с получением коллективного медно-молибденового концентрата. Схема коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай в замкнутом цикле изображена на рисунке 13. Результаты флотации представлены в таблице 20. Проведено сравнение результатов флотации с применением в качестве собирателя бутилового ксантогената натрия и Z-200.

Таблица 20 - Результаты коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай в замкнутом цикле с применением базовых флотореагентов

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
Мо-Си концентрат	1,8	<b>22,8</b>	<b>0,7</b>	<b>87,45</b>	<b>71,96</b>	БКс – 140 г/т
Хвосты	98,2	0,06	0,005	12,6	28,04	
Исходная руда	100	0,47	0,0175	100	100	
Мо-Си концентрат	1,8	<b>24,2</b>	<b>0,8</b>	<b>91,73</b>	<b>78,57</b>	Z-200 – 50 г/т
Хвосты	98,2	0,04	0,004	8,3	21,43	
Исходная руда	100	0,47	0,0183	100	100	

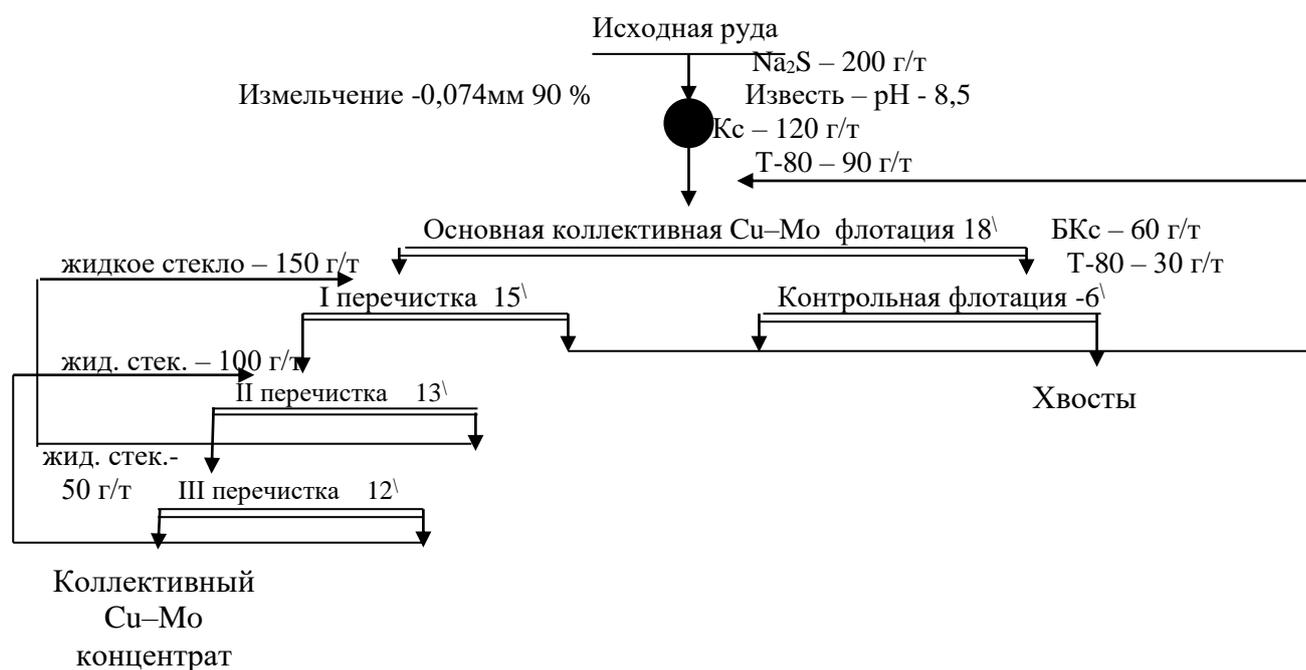


Рисунок 13 – Схема коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай в замкнутом цикле

Результаты таблицы 20 показывают, что при флотации в замкнутом цикле с применением бутилового ксантогената получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 22,8 % при извлечении 87,45 % и с содержанием молибдена 0,7 % при извлечении 71,96 %. При флотации в замкнутом цикле с применением Z-200 получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 24,2 % при извлечении 91,73 % и с содержанием молибдена 0,8 % при извлечении 78,57 %.

Собиратель Z-200 позволяет, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, увеличить извлечение в коллективный медно-молибденовый концентрат меди – на 4,28 %, молибдена – на 6,61 %. При этом содержание меди в коллективном концентрате увеличивается на 1,4 % (с 22,8 до 24,2 %).

Далее укрупненно-лабораторные испытания технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай включали цикл селекции

с применением модифицированного реагента в сравнении с базовым режимом. Схема селекции и реагентный режим представлены на рисунке 14. Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата руды месторождения Актогай в замкнутом цикле представлены в таблице 21.

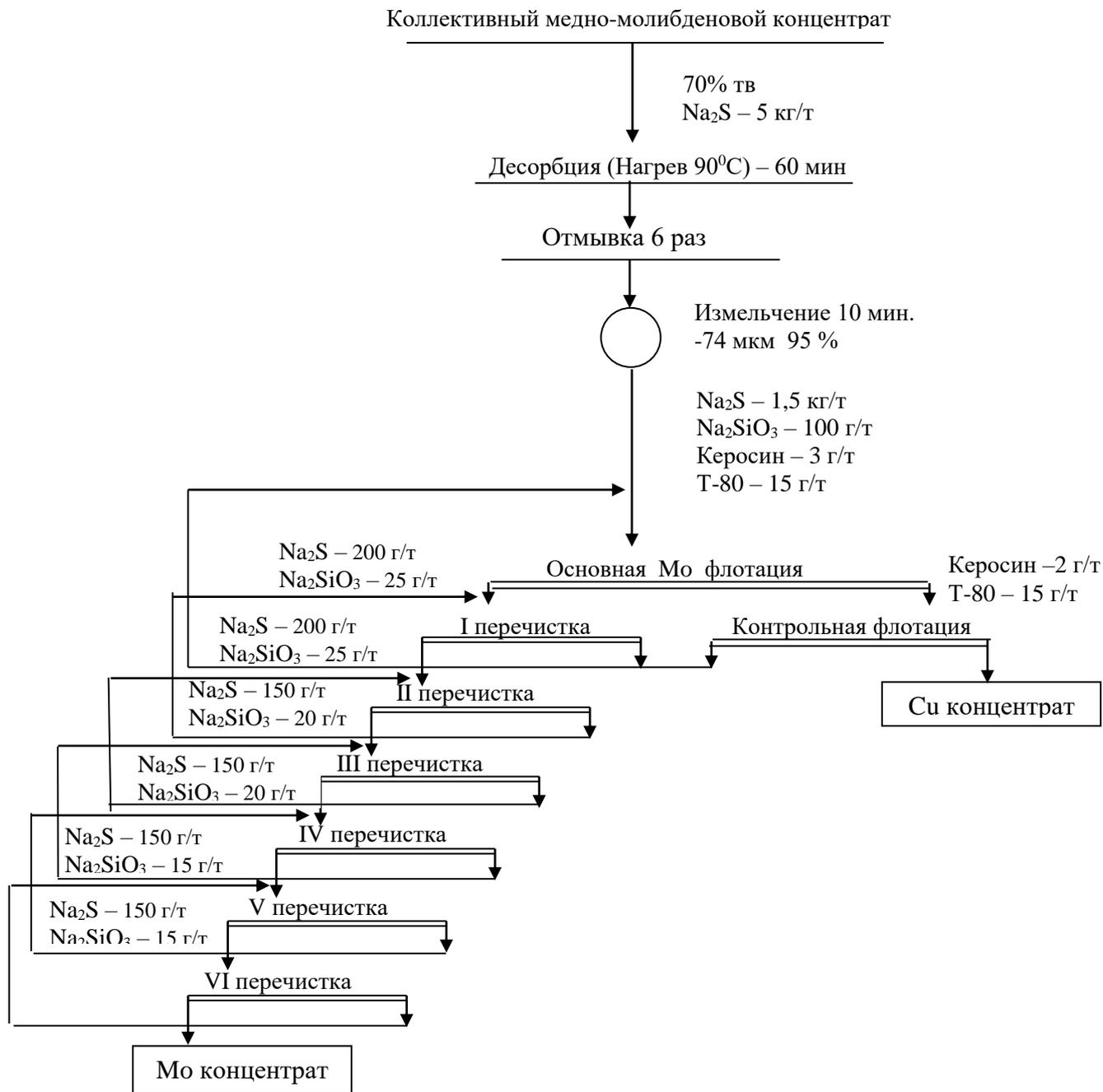


Рисунок 14 – Схема селекции коллективного медно-молибденового концентрата руды месторождения Актогай в замкнутом цикле

Таблица 21 - Результаты селекции коллективного медно-молибденового концентрата руды месторождения Актогай в замкнутом цикле

Название пробы	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
Mo конц	1,2	2,1	<b>41,3</b>	0,11	<b>69,5</b>	Керосин - 5 г/г
Cu конц	98,8	<b>23,7</b>	0,22	<b>99,89</b>	30,5	
Mo- Cu колл конц	100	23,44	0,71	100,00	100,00	
Mo конц	1,3	1,8	<b>43,2</b>	0,10	<b>74,0</b>	МФ-2 - 5 г/г
Cu конц	98,7	<b>23,4</b>	0,2	<b>99,90</b>	26,0	
Mo- Cu колл конц	100	23,12	0,76	100,00	100,00	

Результаты таблицы 21 показывают, что при селективной флотации в замкнутом цикле с применением базового аполярного собирателя керосина получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 41,3 % при извлечении 69,5 % и медный концентрат с содержанием меди 23,7 % при извлечении 99,89 %.

При флотации с применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 43,2% при извлечении 74,0% и медный концентрат с содержанием меди 23,4% при извлечении 99,9%.

Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селекции коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %.

### *Выводы*

Проведены работы по разработке усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов. Произведен подбор оптимального соотношения совместно применяемых реагентов, которое составило 1:1. С применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 46,3 % при извлечении 63,7 % и медный концентрат с содержанием меди 24,2 % при извлечении 89,02 %. В результате исследований показано, что совместное применение модифицированного реагента МФ-2, по сравнению с базовой технологией, позволяет увеличить извлечение молибдена на 4,2 %.

Проведены исследования по коллективной медно-молибденовой флотации руды с применением базового собирателя и реагента Z-200 в замкнутом цикле с получением коллективного медно-молибденового концентрата. Собиратель Z-200 позволяет, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, увеличить извлечение в коллективный медно-молибденовый

концентрат меди – на 4,28 %, молибдена – на 6,61 %. При этом содержание меди в коллективном концентрате увеличивается на 1,4 % (с 22,8 до 24,2 %).

Проведены укрупненно-лабораторные испытания технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай в цикле селекции с применением модифицированного реагента в сравнении с базовым режимом. Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селекции коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %.

Предлагаемый технологический режим флотации медно-молибденовой руды позволяет повысить степень селективного извлечения меди и молибдена из полиметаллических руд, повысить показатели обогащения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ современного состояния и пути совершенствования переработки труднообогатимых медно-молибденовых руд. Проведен обзор сведений о месторождениях молибденовой руды и характеристиках сырья для получения флотационных реагентов, представляющих собой масла и нефтепродукты.

Отработан технологический режим флотации медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением базовых реагентов. Изучен вещественный состав руды. В исследуемой пробе руды месторождения Актогай основным медьсодержащим минералом является халькопирит. Он характеризуется относительно равномерным распределением. Наиболее характерной формой выделения его являются вкрапления размером 0,003-1,0 мм. Молибденит образует единичные пластинки (0,001-0,1 мм) в кварцевых, хлорит-кварц-калишпатовых и калишпатовых прожилках. По результатам химического анализа в исследуемой пробе руды месторождения Актогай содержится 0,009 % молибдена; 0,4 % меди; 5,2 % железа; 4,6 % CaO; 16,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 55,7 % SiO<sub>2</sub>; 4,6 % MgO; 0,27 % Ti.

Определены оптимальные реагентные режимы флотации руды в цикле коллективной медно-молибденовой флотации. Схема коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай включала основную коллективную медно-молибденовую флотацию, контрольную флотацию и три перечистки коллективного концентрата. Исследования по установлению оптимальной степени измельчения исходной руды показали, что наилучшие показатели достигнуты при измельчении 94 % класса 0,05 мм. Оптимальным расходом бутилового ксантогената натрия в коллективном цикле флотации является 140 г/т. При этом получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 21,1 % при извлечении 77,66 % и с содержанием молибдена 0,37 % при извлечении 53,45 %.

Изучено влияние на извлечение меди и молибдена в коллективный медно-молибденовый концентрат собирателя Z-200 вместо бутилового ксантогената натрия. Флотореагент Z-200 представляет собой N-аллил-о-изопропилтионокарбамат. При оптимальном расходе Z-200 50 г/т получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 23,9 % при извлечении 83,34 % и с содержанием молибдена 0,65 % при извлечении 68,6 %. Нарботка коллективного медно-молибденового концентрата для цикла селекции проводилась с применением собирателя Z-200.

Отработана технология селекции коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, с применением базовых реагентов, в качестве которых применялись сульфид натрия, керосин, жидкое стекло и метода пропарки. По базовой технологии при оптимальном расходе керосина 5 г/т получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 45,4 % при извлечении 59,5 % и медный концентрат с содержанием меди 24,1 % при извлечении 89,1 %.

Проведены работы по разработке усовершенствованной технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов. В качестве исходных веществ для подготовки модифицированного реагента использовали керосин и нефть Арыскупского месторождения (реагент МФ-2). Произведен подбор оптимального соотношения совместно применяемых реагентов, которое составило 1:1. С применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 46,3 % при извлечении 63,7 % и медный концентрат с содержанием меди 24,2 % при извлечении 89,02 %. В результате исследований показано, что совместное применение модифицированного реагента МФ-2, по сравнению с базовой технологией, позволяет увеличить извлечение молибдена на 4,2 %.

Проведены исследования по коллективной медно-молибденовой флотации руды месторождения Актогай с применением базовых флотореагентов в замкнутом цикле с получением коллективного медно-молибденового концентрата. При этом с применением бутилового ксантогената получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 22,8 % при извлечении 87,45 % и с содержанием молибдена 0,7 % при извлечении 71,96 %. При флотации в замкнутом цикле с применением Z-200 получен коллективный медно-молибденовый концентрат с содержанием меди 24,2 % при извлечении 91,73 % и с содержанием молибдена 0,8 % при извлечении 78,57 %. Собиратель Z-200 позволяет, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, увеличить извлечение в коллективный медно-молибденовый концентрат меди – на 4,28 %, молибдена – на 6,61 %. При этом содержание меди в коллективном концентрате увеличивается на 1,4 % (с 22,8 до 24,2 %).

Проведены укрупненно-лабораторные испытания технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай в цикле селекции с применением модифицированного реагента в сравнении с базовым режимом. При селективной флотации в замкнутом цикле с применением базового аполярного собирателя керосина получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 41,3 % при извлечении 69,5 % и медный концентрат с содержанием меди 23,7 % при извлечении 99,89 %.

При флотации с применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 43,2 % при извлечении 74,0 % и медный концентрат с содержанием меди 23,4 % при извлечении 99,9 %. Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селекции коллективного медно-молибденового концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П. Обогащение тонковкрапленных руд – приоритетное направление горно-металлургического комплекса //Промышленность Казахстана, 2000. -№ 2.- С. 96.
- 2 Глембоцкий А.В. Флотация ультратонких частиц //Цветные металлы, 1978.- № 7.- С.112-114.
- 3 Бочаров В.А., Вигдергауз В.Е. Флотация сульфидных тонкодисперсных минеральных систем//Цветные металлы, 1997.-№ 3.-С.8-11.
- 4 Жарменов А.А., Чантурия В.А., Ерёмин Ю.П., Загайнов В.Г., Ниязов А.А. и др. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения. Труды РГП «НЦ КПМС РК» в 10 томах. Том 2. Теория и технология обогащения природного и техногенного минерального сырья. – Алматы, 2008.- 462 с.
- 5 Бобракова А.А., Александрова Т.Н. Особенности флотации сульфидных минералов из молибденовых руд алюмосиликатного состава //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013.- Т.1.- С.115-117.
- 6 Ультаракова Д.Д., Еремин Ю.П., Куликова О.В. Новый экологически чистый флокулянт сульфидов цветных металлов и золота на основе поливинилацетатной эмульсии // Материалы совещания «Проблемы совершенствования технологий на обогатительных предприятиях Казахстана – наука и практика», Алматы. - 2002.- С.87-88.
- 7 Мещеряков Н.Ф., Сабиров Р.Х., Зимин А.В., Якушкин В.П. Мещеряков А.Н. Применение вакуумных аппаратов со струйными аэраторами для флотации калийных солей //Горный журнал, 2003, спец. выпуск.- С.15-17.
- 8 Еремин Ю.П., Жарменов А.А., Загайнов В.Г., Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е., Бектурганов Н.С. Гидрофобные флотационные взаимодействия, как коалесценция пузырьков //Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ, 2007.- Т.2.- С.134-136.
- 9 Ультаракова Д.Д., Ерёмин Ю.П., Загайнов В.Г. Разработка способа флотации с эжекторной аэрацией с выделением газов из жидкой фазы //Промышленность Казахстана, 2007.- № 2.- С.58.
- 10 Рулев Н.Н., Тусупбаев Н.К., Кравченко О.В. Обогащение ультрадисперсного магнитного концентрата железной руды методом комбинированной микрофлотации //Мат. 9 Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва. - 2013. - С.488-495.
- 11 Ультаракова Д.Д., Ерёмин Ю.П., Загайнов В.Г., Хайруллина С.Т. Научные основы пульсационно-псевдокавитационного аэрирования при селективной флотации микродисперсий //Мат. VI Межд. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва-Караганда.- 2007.- С. 40.

12 Гетман С.В. Инновационный подход к разработке технологии обогащения молибденовых руд //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013.- Т.1.- С.161-165.

13 Еремин Ю.П., Канатчинов А.К., Ким О.Р., Ультаракова Д.Д. Влияние предзвуковых воздействий на кинетику междисперсных взаимодействий //Вестник КазНУ им. аль-Фараби, серия химическая, Алматы, 2002.- № 3.- С.105.

14 Патент РК № 7293. Распылитель-активатор жидких флотореагентов /Якименко П.М., Токдбулатов Т.Е., Студенцов В.В. и др. – Б.И. № 3, 15.03.1999.

15 Патент РК № 6260. Распылитель жидкости, активатор флотореагентов / Якименко П.М., Ревазашвили И.Б., Клец А.Н. и др. – Б.И. № 5, 15.06.1998.

16 Патент РК № 5491. Распылитель-активатор жидких флотореагентов /Якименко П.М., Студенцов В.В., Клец А.Н. и др. – Б.И. № 5, 23.01.1997.

17 Глинкин В.А. Применение дитиокарбаматов при флотации руд цветных металлов //Обогащение руд.- 1997.- № 4.- С.22-24.

18 Глинкин В.А., Иванова Т.А., Шихкеримова П.Г., Кузькин А.С. Синтез и исследование флотационного действия цианэтилдитиокарбамата //Цветная металлургия.- 1989.- № 1.- С.14-15.

19 Мухтар А.А., Мухымбекова М.К., Макашев А.С., Касымова Б.К., Айтбаева М.К. Расширение минерально-сырьевой базы предприятий, перерабатывающих молибденсодержащие руды //Материалы 9 Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 26-28 февраля 2013.- С.427-428.

20 Anita Ansari, Marek Pawlik Floatability of chalcopyrite and molybdenite in the presence of lignosulfonates. Part I. Adsorption studies //Minerals Engineering.- 2007.- Vol.20.- P.600–608.

21 Jorjani E., Barkhordari H.R., Tayebi Khorami M., Fazeli A. Effects of aluminosilicate minerals on copper–molybdenum flotation from Sarcheshmeh porphyry ores //Minerals Engineering.- 2011.- Vol.24.- P.754-759.

22 Гетман С.В. Инновационный подход к разработке технологии обогащения молибденовых руд //Материалы 9 Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 26-28 февраля 2013.- С.161-165.

23 Морозов В.В, Пестряк И.В., Баатархуу Ж., Хандмаа С. Повышение эффективности обогащения медно-молибденовых руд с применением комбинированной флотационно-биогидрометаллургической технологии //Изв. вузов. Горный журнал.- 2012.- № 4.- С.68-74.

24 Карнаухов С.Н., Плясовица С.С., Вилкова Н.В. Технология переработки молибденсодержащих руд //Горный журнал. – 2011.- № 8/9.- С.55-61.

25 Изойтко В.М., Пшеничникова Е.П. Технологические особенности молибденовых руд // Горный журнал. Обогащение руд. – 1997.- № 2.- С.20-22.

- 26 Мязин В.П., Костромина И.В. Разработка комбинированного метода извлечения окисленного молибдена // Обогащение руд.- 2004.- № 1- С.21-23.
- 27 Максимов И.И., Кучаев В.А., Отрожденнова Л.А., Колтунова Т.Е., Егорова В.Г. Разработка экономичных способов разделения коллективного медно-молибденово-пиритного концентрата, получаемого на монголо-российском предприятии «Эрдэнэт» // Обогащение руд.- 1997.- № 2- С.32-34.
- 28 Херсонский М.И., Десятов А.М., Гэээгт Ш., Баатархуу Ж., Дэлгэр Р., Туяа Ц. Разработка реагентного режима коллективной флотации медно-молибденовых руд месторождения «Эрдэнэтийн-Овоо» с применением модифицированных аэрофлотов // Материалы 9 Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 26-28 февраля 2013.- С.624-630.
- 29 Тусипбаев Н.К. Пути интенсификации флотации сульфидных руд. Алматы 2017.
- 30 Аскарлова М.А., Хушвакова О.Б., Кушимова Ф.К. и др. // Матер. IV конгр. обогатит. стран СНГ, М., 19-21 марта 2003. Изд. Альтекс, М.-2003.- С.110.
- 31 Aldrich Condensed Phase Library Edition I (10607 spectra), 1998.-С.10-12.
- 32 Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений. Москва, 1977.-С.26-29.
- 33 Большаков Г.Ф., Глебовская Е.А., Каплан З.Г. Инфракрасные спектры и рентгенограммы гетероорганических соединений, изд-во «Химия», Ленинградское отделение, 1967. – С.115-124.
- 34 Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений.- М.: Мир, 1965.-219 с.
- 35 Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул.- М.: Мир, 1971.- 320 с.
- 36 Казицина Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии.- М.: В.Ш., 1971.- 264 с.
- 37 Калинин С.К., Терехович С.Л. Инфракрасные спектры нефтей Казахстана (Атлас).- Алма-Ата, 1987.- С. 31-33.
- 38 Ботнева Т.А., Ильина А.А. и др. Методическое руководство по люминесцентно-битуминозным и спектральным методам исследования органического вещества пород и нефтей. М., 1979.- 205 с.
- 39 Moenke H., Mineralspektren, Acad. Verlag, Berlin, 1962.- 394 s.
- 40 HR Minerals (600 spectra). Thermo Fisher Scientific Inc. for Nicolet FT-IR. 2008.
- 41 Власов А.Г., Флоринская В.А. и др. “Инфракрасные спектры неорганических стекол и кристаллов”/ Изд-во «Химия», Л., 1972. - С.304.
- 42 Спектры минералов и продуктов технологической переработки, полученные в ЛФМА АО «ЦНЗМО». – С.12.
- 43 Поваренных А.С. «Кристаллохимия и колебательные спектры минералов», Киев, 1980. – 250 с.

44 Десятков А.М., Херсонский М.И., Баатархуу Ж., Карнаухов С.Н., Туяа Ц. Разработка технологии разделения медно-молибденово-пиритного продукта обогатительной фабрики Эрдэнэт с применением депрессора МФТК //Материалы V Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 23-25 марта 2005.-Т.3.- С.229-230.

45 Лебедев Н.М., Воронин О.В., Ложников С.С., Пантелеев С.В., Байгунакова Р.К., Манцевич М.И., Херсонский М.И. Использование ультразвука для интенсификации процессов флотации //Материалы V Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 23-25 марта 2005.-Т.3.- С.225-226.

46 Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Мухамедилова А.М., Абильтин Т.С. Применение модифицированных реагентов при флотационном обогащении бедных молибденсодержащих руд //Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 3-4 апреля 2013.- С.158-160.

47 Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Мухамедилова А.М. Влияние модифицированных флотореагентов на селекцию медно-молибденового концентрата //Материалы Межд. совещания «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья», Плаксинские чтения - 2013, г. Томск, 16-19 сентября 2013.- С.209-211.

48 Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Мухамедилова А.М., Муханова А.А., Сугурбекова А.К. Усовершенствование технологии флотации медно-молибденовой руды с применением модифицированных реагентов //Комплексное использование минерального сырья.- 2013.- № 4.- С.3-11.

### Список опубликованных работ по теме диссертаций

1 Д.Т. Амантаев, А.Р. Мамбеталиева Изучение процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации: сб. статей III Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2020», Минск, 3 декабря 2020 г. : в 3 т. – Минск: БГТУ, 2021. – Т. 2. – С. 135-138.

2 А.Р. Мамбеталиева, Д.К. Турысбеков, Д.Т. Амантаев “УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ”. Труды Сатбаевских чтений «САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021». Алматы, 2021. С.953-956.

Просмотр собрания "Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации : сборник статей III Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2020". Ч. 2" по группе - Авторы Амантаев, Д. Т.

Название:	Изучение процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата
Авторы:	Амантаев, Д. Т. Мамбеталиева, А. Р.
Ключевые слова:	флотационное обогащение молибден флотация молибденовый концентрат собиратели молибденовые руды
Дата публикации:	2021
Издательство:	БГТУ
Библиографическое описание:	Амантаев, Д. Т. Изучение процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата / Д. Т. Амантаев, А. Р. Мамбеталиева // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации : сб. статей III Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2020», Минск, 3 декабря 2020 г. : в 3 т. – Минск: БГТУ, 2021. – Т. 2. – С. 135-138.
Краткий обзор (реферат):	Указанный технический результат заключается в том, что в способе флотации молибденовых руд, включающем коллективную флотацию молибдена в щелочной среде, создаваемой известью, коллективную флотацию проводят в присутствии собирателя и вспенивателя, затем концентрат коллективной флотации после операций сгущения и десорбции в присутствии сернистого натрия направляют на молибденовую флотацию в присутствии собирателя с получением молибденового концентрата пенным продуктом, а хвосты молибденовой флотации направляют на классификацию, причем тонкий продукт направляют на шламовую флотацию в присутствии собирателя, а хвосты молибденовой флотации направляют на классификацию.
URI (Унифицированный идентификатор ресурса):	<a href="https://elib.belstu.by/handle/123456789/40767">https://elib.belstu.by/handle/123456789/40767</a>
Располагается в коллекциях:	Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации : сборник статей III Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2020". Ч. 2

## Список использованных источников

1. Байченко А.А., Иванов Г.В. Флокулярная флотация тонких угольных шламов // Материалы науч.-техн. конф., 19-20 ноября 1999. Кемерово, 1999. С. 9-29.
2. Шевченко Т.В. Прикладная коллоидная химия. Флокулянты и флокуляция. Кемерово: КемТип, 2004.
3. Rulyov N.N. "Application of ultra-flocculation and turbulent micro-flotation to the removal of fine contaminants from water", *Colloids & Surfaces A*, Vol. 151, 1999a, 283-291.
4. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Applications // In book "Particle Size Enlargement in Mineral Processing". – Montreal (Canada). – 2004. – P. 197–214.

УДК 622.765:661.877

**Д.Т. Амантаев, А.Р. Мамбеталиева**

Казахский национальный технический университет  
им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МОЛИБДЕНА ИЗ КОЛЛЕКТИВНОГО КОНЦЕНТРАТА

**Аннотация.** Указанный технический результат заключается в том, что в способе флотации молибденовых руд, включающем коллективную флотацию молибдена в щелочной среде, создаваемой известью, коллективную флотацию проводят в присутствии собирателя и вспенивателя, затем концентрат коллективной флотации после операций сгущения и десорбции в присутствии сернистого натрия направляют на молибденовую флотацию в присутствии собирателя с получением молибденового концентрата пенным продуктом, а хвосты молибденовой флотации направляют на классификацию, причем тонкий продукт направляют на шламовую флотацию в присутствии собирателя, а хвосты молибденовой флотации направляют на классификацию, причем тонкий продукт направляют на шламовую флотацию в присутствии собирателя и вспенивателя, а грубый, после доизмельчения, направляют на песковую флотацию в присутствии собирателя и вспенивателя, после чего концентраты шламовой и песковой флотации объединяют в молибденовый концентрат, а хвосты направляют в отвал.

**Ключевые слова:** флотация, молибденовый концентрат, собиратели.

**Введение.** Основным медьсодержащим минералом первичных руд является халькопирит, а зоны вторичного сульфидного обогащения - халькозин. Молибден представлен практически во всех месторождениях молибденитом. Среди рудных минералов количественно преобладает пирит, флотационные свойства которого зависят от генезиса месторождения и степени его активации ионами меди. Молибденит обладает высокой природной флотоактивностью по сравнению с сульфидами меди и пиритом, но в связи с низким его содержанием в руде наблюдается его замедленная флотация. Общее количество сульфидов не превышает 5 - 6 %, в связи с этим физико-химические свойства руды зависят от состава и строения рудовмещающих пород. [1-5].

В коллективной флотации около 60% зарубежных фабрик в качестве собирателя применяют ксантогенаты или их смеси с различной длиной углеводородного радикала. Также нашли применение более селективные по отношению к пириту собиратели: дитиофосфаты, алкилтионокарбаматы, эфиры ксантогеновых кислот. Для зарубежных фабрик характерно применение в разных циклах флотации нескольких собирателей или композиций отдельных собирателей. Сочетание сильных и слабых собирателей применяется в основном для флотации халькопиритовых руд, редко для халькозиновых при грубом помоле. Подача нерастворимых в воде собирателей, как правило, осуществляется в измельчение и насосы. В последнее время для лучшего распределения в пульпе и диспергирования применяют их в смеси с пенообразователями или в виде растворов в органических жидкостях.

В качестве дополнительного собирателя для молибденита на большинстве фабрик применяют аполярные масла (дизельное топливо, керосин, промышленное масло и др.). Среди вспенивателей ведущее положение при флотации медно-молибденовых руд сохраняют метилизобутилкарбинол и алкиловые эфиры полиалкиленгликолей. Первый имеет сравнительно низкую растворимость в воде, создает хрупкую пену и обладает высокой селективностью. Эфиры полиалкиленгликолей - более сильные вспениватели. Они создают относительно прочную и устойчивую пену, способную удерживать грубые частицы даже при высоком значении рН. Это в некоторой степени снижает их селективность.

В последние годы наблюдается тенденция применения селективных по отношению к пириту собирателей, позволяющих обеспечить высокое извлечение меди и молибдена, создать благоприятные условия для разделения коллективного концентрата.

Коллективный концентрат обрабатывают кислородом при температуре 65-90°C, давлении 0,05-1,0 МПа и рН 11,0; селективная флотация медно-молибденового концентрата с выделением молибденового концентрата с выделением молибдена в пенный продукт проводится при рН равным 6-8. Недостатками данного способа являются использование в операции десорбции кислорода - дорогого и дефицитного материала и необходимость повышенного давления в операции десорбции концентрата, что также существенно удорожает операцию селекции. Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому является способ разделения медно-молибденовых руд, включающий измельчение руды и коллективную флотацию меди и молибдена в щелочной среде. В цикле коллективной медно-молибденовой флотации в качестве собирателя применяют керосин и ксантогенат, а для депрессии пирита используют известь. Перед разделением коллективной флотации медно-молибденовый концентрат сгущают при загрузке до рН 11,5, обеспечивая десорбцию и удаление значительной части собирателя с поверхности минералов. Перемешивают в течение 4-5 ч с обработкой пульпы острым паром при температуре, близкой к кипению, и аэрацией, затем ведут селективную флотацию (после разбавления пульпы водой при рН 8,6-8,8) с добавками углеводородного масла. При этом в пенный продукт извлекают молибденит, камерным продуктом получают медный концентрат.

Проведен анализ и определены причины снижения извлечения молибдена в условиях увеличения в руде доли первичных сульфидов меди. Показано, что основные потери молибдена связаны с необходимостью более "глубокой" депрессии пирита.

### **Список использованных источников**

1. Ж.Баатархуу. Научное обоснование и разработка эффективной технологии обогащения медно - порфириновых руд на основе изучения их генетико -морфологических особенностей // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - М. - 2002.

2. Елисеев Н.И., Яшина Г.М. и др. Особенности флотационного поведения пиритов р- и п- типа // В кн. Современное состояние и перспективы развития теории флотации. -М., Наука. - 1969. - С. 232 - 237.

3. Рыков К.Е. Влияние условий образования пирита на его флотационные свойства // Изв. Вузов. "Цветная металлургия". - 1962. - №1. -С. 24-27.

4. Поспелов Н.Д. и др. Обогащение медно-молибденовых руд за рубежом с учетом формирования месторождения. - М., 1985. - Вып. 5.-С. 7-12.

5. Sutulov A. International molibdenum enciclopidic // - Processing and metallurgy, Santiago de Chile. - 1979. - Vol. 2. - P. 25 - 30.

**"САТПАЕВ ОҚУЛАРЫ - 2021"**

**СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ**

**ЕҢБЕКТЕРІ**

**I Том**

**ТРУДЫ**

**САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ**

**"САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2021"**

**Том I**

**PROCEEDINGS**

**SATPAYEV'S READINGS**

**"SATPAYEV READINGS - 2021"**

**I volume**

**Алматы 2021 Almaty**

УДК  
ББК

001  
42  
С21

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АЛМАТЫ АКАДЕМИЯСЫ  
ХАҒЫМАРЛЫҚ СТАНДАРТТЫҚ АТАТ НЕМІСІ (ISBN)  
ӘМБЕБАТ ОҚЫАЖИТЕУ ҚТАДНАНАЛЫҚ – БИЕЛМОҚРНАҚЫАЖИТЕУ  
ШТРИХ – КОД БЕРІЗДІ  
«НАЦИОНАЛЬНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОЛЛЕКЦИОННАЯ ПАЛАТА РЕС  
ПУБЛИКАЦИИ (РЕГИСТРАЦИЯ) И КОДИФИКАЦИЯ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ДЕСЯТКИМ КЛАССИФИКАТО  
БИЕЛМОҚРНАҚЫАЖИТЕУ ҚТАДНАНАЛЫҚ – БИЕЛМОҚРНАҚЫАЖИТЕУ  
ШТРИХ – КОД БЕРІЗДІ

- Сыздыков А.Х. – И.о. Проректор по науке и **инновациям, председатель оргкомитета**
- Рысбеков К.Б. – Директор Института геологии, **заместитель председателя оргкомитета**
- Бекботаева А.А. – Заведующий кафедрой «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», **ответственный исполнитель.**
- Елемесов К.К. – Директор Института металлургии и промышленной инженерии
- Сейлова Н.А. – Директор Института кибернетики и информационных технологий
- Туйебахова З.К. – Директор Института химических и биологических технологий
- Омарбеков Б.О. – Директор Института промышленной автоматизации и цифровизации
- Куспангалиев Б.У. – Директор Института архитектуры и строительства
- Субалова М.А. – Директор Института управления проектами
- Саренова А.С. – Директор Института базового образования
- Узбаева Б.Ж. – Директор Научной библиотеки
- Баудагулова Г.Т. – Специалист минералогического музея кафедры ГСПиРМПИ, **ответственный секретарь конференции**

Сд1

«Сатпаевские чтения -2021»: сборнике представлены материалы конференции Сатпаевские чтения.

Алматы: КазНУТУ имени Сатпаева, 2021.

ISBN 978-601-323-246-1

ISBN 978-601-323-247-8

Конференция посвящена празднованию 30-летия независимости Казахстана, обобщению опыта развития горно-геологической, металлургической, химической отраслей, машиностроения, строительства, коммуникаций, а также развитию творческого и интеллектуального потенциала обучающихся и молодых ученых университета. Конференция будет способствовать подготовке нового поколения лидеров, способных решать глобальные задачи устойчивого развития, узнаваемости университета и популяризации научных исследований.

ISBN

УДК 001  
ББК 42

ISBN 978-601-323-246-1

ISBN 978-601-323-247-8

Сд1  
Э.ман

© Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

А. Р. Мамбеталиева<sup>1</sup>, Д. К. Турысбеков<sup>2</sup> Д. Т. Амантаев<sup>1</sup>  
Научный руководитель - А. Р. Мамбеталиева, PhD доктор, лектор  
<sup>1</sup>Satbayev University, Казахстан, г. Алматы  
<sup>2</sup>Институт металлургии и обогащения, Казахстан, г. Алматы  
*Alima\_78@mail.ru*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ

**Аннотация.** Увеличение потребности в полезном ископаемом, снижение качества руд требуют новых методов и подходов к решению к инновационным технологиям обогащения минерального компонента. Последние годы в руде содержание цветных металлов упало в 1,5 раза, а трудности обогащения руд обусловлены особенностями их вещественного состава. Проблема изыскания новых технологических методов и схем обогащения является актуальной задачей. Целью данной работы являлось изучение влияния модифицированных реагентов на извлечение меди и молибдена на примере медно-молибденовой руды Актогайского месторождения. Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селективной флотации медно-молибденового концентрата позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %.

**Ключевые слова:** медь, молибден, флотация, концентрат, руда. На территории бывшего СССР насчитывается 60 месторождений молибдена, при этом месторождения молибдена разведаны в основном в России, Казахстане, Узбекистане и Армении. По оценке «Инфомайн», запасы молибдена в СНГ превышают 3 млн. т [1]. До 1998 г. на территории Казахстана разрабатывались не большие бедным запасом месторождения медно-молибденовых руд, содержание менее 1% запаса молибдена. В данный момент перерабатываются и обогащаются месторождения Актогай, Бозшаколь, Шатырколь, Кызылту.

К трудностям обогащения молибденосодержащих руд относятся необходимость очень тонкого измельчения полезного компонента, то есть разделения сульфидных минералов от минералов пустой породы идет недостаточно продуктивно, необходимо применить новейшие технологические режимы. Поэтому актуальной является проблема изыскания новых технологических методов и схем обогащения молибденосодержащих руд [2-3]. Так в институте «Гинцветмет» проводились исследования с целью создания более селективно действующих, чем ксантогенаты и дитиофосфаты, реагентов-собирателей [4]. Синтезирован ряд S-замещенных диалкилдитиокарбаматов. Для флотации медно-молибденовых и полиметаллических руд наиболее перспективным признан S-цианэтил, N, N-диэтилдитиокарбамат (ДЭЦЭ), получаемый при взаимодействии диэтил-дитиокарбамата натрия и акрилонитрила. Установлено, что данный реагент является собирателем халькопирита и молибденита и не проявляет собирательных свойств по отношению к пириту [5]. Результаты исследований с применением отходов нефтяной промышленности в обогащении руд тяжелых и цветных металлов показали, что нефтешламный раствор содержит в своем составе органические вещества, обладающие избирательно гидрофобизирующим свойством минеральных частиц, с достаточно высокой адгезией (54,7 эрг/см) и может быть использован в качестве флотореагента как заменителя аполиарных реагентов в коллективной флотации золотосодержащих медно-молибденовых руд [6]. Целью данной работы являлось изучение влияния модифицированных реагентов на извлечение меди и молибдена на примере медно-молибденовой руды Актогайского месторождения. Проведены работы по усовершенствованию технологии флотации медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов. Изучен вещественный состав руды месторождения Актогай. Минералогический анализ показал, что в составе руды основные минералы меди и молибдена. Основными рудообразующими минералами являются халькопирит, халькозин, молибденит. По результатам химического анализа в исследуемой пробе руды месторождения Актогай содержится 0,009 % молибдена; 0,4 % меди; 0,58 % серы; 5,2 % железа; 4,6 % CaO; 16,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 55,7 % SiO<sub>2</sub>; 4,6 % MgO; 0,27 % Ti. В качестве веществ для подготовки измененного реагента использовали керосин и нефть Арыкумского месторождения (реагент МФ-2). Произведен подбор оптимального соотношения совместно применяемых реагентов, которое

составило 1:1. Укрупненно-лабораторные испытания технологии обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай включали цикл селекции с применением модифицированного реагента в сравнении с базовым режимом. Результаты представлены в таблице.

Таблица 1 – Результаты руды коллективного Мо-Си концентрата месторождения Актогай в замкнутом цикле

Пробы	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Cu	Mo	Cu	Mo	
Mo конц	1,2	2,1	41,3	0,11	69,5	Керосин - 5 г/т
Cu конц	98,8	23,7	0,22	99,89	30,5	
Mo- Си колл конц	100	23,44	0,71	100,00	100,00	
Mo конц	1,3	1,8	43,2	0,10	74,0	МФ -2 - 5 г/т
Cu конц	98,7	23,4	0,2	99,90	26,0	
Mo- Си колл конц	100	23,12	0,76	100,00	100,00	

Результаты таблицы показывают, что при селективной флотации в замкнутом цикле с применением базового аполярного собирателя керосина получен концентрат молибдена с содержанием Мо- 41,3 % при извлечении 69,5 % и концентрат меди: содержание минерала Си - 23,7 % при извлечении 99,89 %. При флотации с применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 43,2 % при извлечении 74,0 % и концентрат меди с содержанием Си- 23,4 % при извлечении 99,9 %. Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селекции коллективного Мо-Си концентрата, полученного из руды месторождения Актогай, позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %. Схема селекции и реагентный режим представлены на рисунке 1.

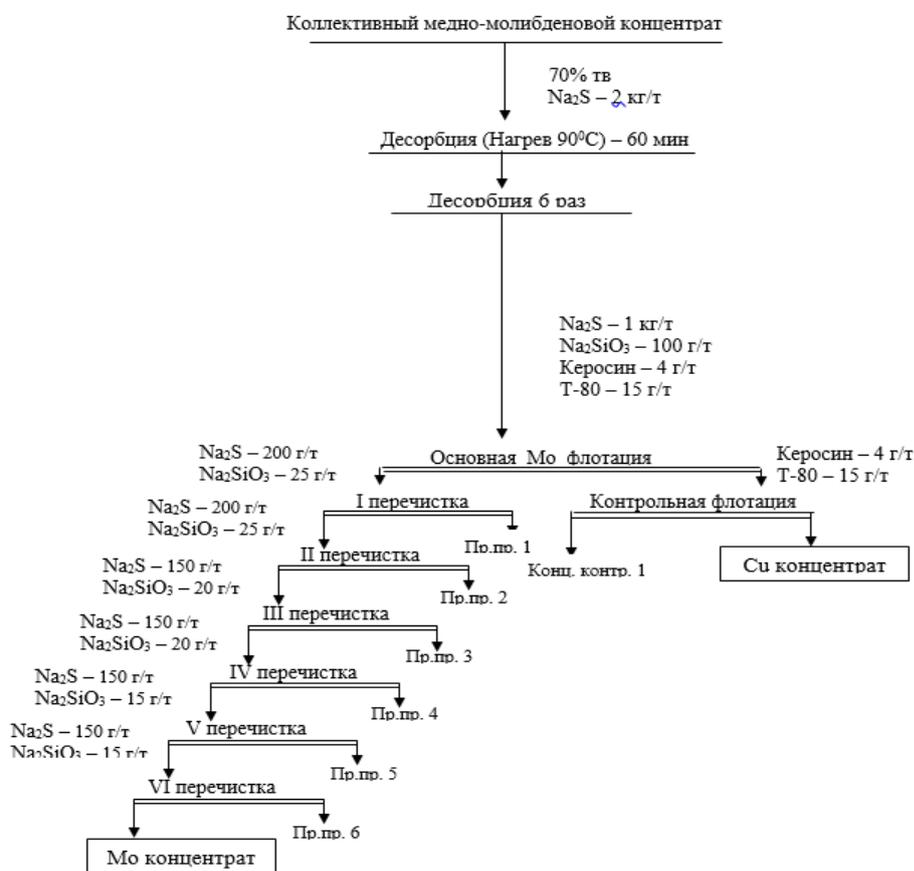


Рисунок 1 – Схема селекции коллективного медно-молибденового концентрата руды месторождения Актогай в замкнутом цикле

Таким образом, применение разработанной технологии обогащения позволит получить высококачественную товарную продукцию. Предлагаемый технологический режим флотации цинк-медно-молибденовой руды позволяет повысить степень селективного извлечения меди и молибдена из полиметаллических руд, повысить показатели обогащения, оптимизировать цикл флотации, снизить капитальные затраты, уменьшить негативное влияние на окружающую среду.

### Литературы

1. Мухтар А.А., Мухымбекова М.К., Макашев А.С., Касымова Б.К., Айтбаева М.К. Расширение минерально-сырьевой базы предприятий, перерабатывающих молибденосодержащие руды // Матер. 9 Конгр. обогатителей стран СНГ. -М., 2013.- С.427-428.
2. Бобракова А.А., Александрова Т.Н. Особенности флотации сульфидных минералов из молибденовых руд алюмосиликатного состава //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013. - Т.1. - С.115-117.
3. Гетман С.В. Инновационный подход к разработке технологии обогащения молибденовых руд //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013. - Т.1. - С.161-165.
4. Anita Ansari, Marek Pawlik Floatability of chalcopyrite and molybdenite in the presence of lignosulfonates. Part I. Adsorption studies // Minerals Engineering. - 2007.- Vol.20.- P.600–608.
5. Морозов В.В, Пестряк И.В., Баатархуу Ж., Хандмаа С. Повышение эффективности обогащения медно-молибденовых руд с применением комбинированной флотационно-биогидрометаллургической технологии //Изв. вузов. Горный журнал. - 2012. - № 4. - С.68-74.
6. Максимов И.И., Кучаев В.А., Отрожденнова Л.А., Колтунова Т.Е., Егорова В.Г. Разработка экономичных способов разделения коллективного медно-молибденово-пиритного концентрата, получаемого на монголо-российском предприятии «Эрдэнэт» //Обогащение руд. - 1997. - № 2- С.32-34.

**А. Р. Мамбеталиева, Д.К.Турысбеков, Д.Т. Амантаев.**

#### **Мыс-молибден кенін флотациялау технологиясын жетілдіру**

**Түйіндемe.** Қазбалы шикізатқа деген қажеттіліктің артуы, өндірілетін кен сапасының нашарлауы, энергия мен ресурсты үнемдеу проблемалары минералдық шикізатты байыту технологияларына жаңа тесілдерді талап етеді. Соңғы 20 жылда кендердегі тиісті металдардың құрамы 1,5 есе төмендеді, ал байытуға түсетін шикізаттың жалпы массасының 15-тен 40% - ға дейін өсті.

Жаңа технологиялық әдістер мен байыту схемаларын табу мәселесі өзекті мәселе болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты Актогай кенорнының мыс-молибден кенін байытуда мыс пен молибденнің бөліп алу дәрежесіне түрлендірілген реагенттердің әсерін зерттеу болып табылады. Бірікті мыс-молибден концентратын таңдамалы бөлуде түрлендірілген МФ-2 реагенті қолданылады, ол молибден концентратына молибденнің бөліп алу дәрежесін 4,5%-ға арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** мыс, молибден, флотация, концентрат, кен.

**Mambetalieva A.R., D.K. Turysbekov, Amantaev D.T.**

#### **Improvement of copper-molybdenum ore flotation technology**

**Abstract.** The growing demand for fossil raw materials, the deterioration of the quality of extracted ores, and the problems of energy and resource conservation require new approaches to mineral processing technologies. Over the past 20 years, the content of non-ferrous metals in ores has decreased by 1.5 times, and the share of hard-to-enrich ores has increased from 15 to 40 % of the total mass of raw materials received for processing.

The problem of finding new technological methods and schemes of enrichment is an urgent task. The purpose of this work was to study the effect of modified reagents on the extraction of copper and molybdenum on the example of copper-molybdenum ore of the Akto gay deposit. The use of the modified MR-2 reagent in the selection cycle of the collective copper-molybdenum concentrate makes it possible to increase the extraction of molybdenum into the molybdenum concentrate by 4.5 %.

**Key words:** copper, molybdenum, flotation, concentrate, ore.

разделения гравитационных концентратов железомарганцевой руды месторождения «Керегетас» с использованием процесса магнитной сепарации	
Гущин В.В. Исследование возможности интенсификации процесса сорбционного извлечения соединений урана	922
Ильясов А.Е., Байқоңырова Ө.Ө., Суримбаев Б.Н. Алтынды агитациялық және сорбциялық шаймалау бойынша зерттеулер	925
Исламов К.Б., Банмбетов Б.С. Электролиз вольфрамата натрия	929
Қадырсызов Д.С. Барменшинова М.Б. Исследование сгущаемости медного концентрата с применением новых флокулянтов	933
Қали А.Ө., Бошқаева Л.Т., Ақубаева Д.М., Айдарханов Д.А., Маратов С.К. Үлкен Қаратаудың ванадийлі кварциттерін өңдеуге арналған белгілі әдістерді талдау	936
Камиев М., Сәрсенова М.С., Гусейнова Г.Д. Разработка и обоснование технологии переработки хромсодержащих шламовых отходов Донского Горно-Обогатительного Комбината	940
Карелин В.А., Ле Ш.Х., Карелина Н.В., Смороков А.А. Электролитический синтез титановых порошков во фторидных расплавах	944
Хумарбекулы Е., Алтымышбаева Ө.Ж., Гусейнова Г.Д. Исследование сорбции ионов тяжелых металлов сорбентами на основе модифицированных природных цеолитов из промышленных сточных вод	949
Мамбеталиева А. Р., Турысбеков Д.К. Амантаев Д.Т. Усовершенствование технологии флотации медно-молибденовой руды	953
Мамбеталиева А.Р., Турысбеков Д.К. Мажитов Н.М., Жакупова Ж.Ж. Влияние доизмельчения пульпы на селективное разделение полезных компонентов от пустой породы при переработке тонковкрапленных руд	956
Мамбеталиева А.Р., Турысбеков Д.К. Бегжан А.Б. Исследование флотационного обогащения медно-золотосодержащей руды месторождения «Коктасжол»	960
Мамбеталиева А.Р., Турысбеков Д.К. Заинабитдинов М.Д., Таймасова А.Н. Влияние пенообразователей при флотации Бозшакольской руды	964
Мырзабекова А.М., Рыспаева М.Б. Оценка общей энергии взаимодействия частиц минералов полимерными флокулянтами	967
Молдабаева Г.Ж., Сәулебекқызы Ш. Таймасова А.Н. Селен және теллур тиотүздарының түзілу кинетикасы	973
Мулик А., Конаратбекова С.С. Изучение сорбции и десорбции золота из иодидных продуктивных растворов	978
Мырзабекова К.Д., Мамбеталиева А.Р., Акказина Н.Т. Интенсификация технологических процессов переработки руд Актогайского месторождения	981
Нурдан М.Е., Муханова А.А. Особенности флотации бедной медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением композиционных реагентов	985
Нургальям Е.Н. Влияние ингибитора отложения солей на процессы выщелачивание и переработки при ПСВ урана	989
Омар Р.С., Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю. Темірқұрамды кендердің гравитациялық байыту технологиясын зерттеу	993
Пернебеков Б.А. Исследования применения аммиачной воды в качестве реагента осадителя	997
Шаутинов М.Р., Акказина Н.Т., Ералиев А.А., Кошер Г.К. Вопросы золотонности углей и продуктов их сгорания	1001
Шаутинов М.Р., Акказина Н.Т., Кошер Г.К. Исследования по переработке золошлаковых отходов с получением железосодержащего продукта	1005
Шаутинов М.Р., Акказина Н.Т., Кожабай Б.Н. Исследования гранулометрического состава и характера распределения редкоземельных элементов в редкоземельной руде Кундыбайского месторождения	1009
Смайлов Р.Е., Айдымбеков А.Б., Ахмет Ө.М. Интенсификация процесса сорбции путем изменения технологической схемы обвязки трейнов	1012
Смороков А.А. Фтораммонийное обогащение высококремнистого титанового сырья	1016
Таубашев С.Р. Барменшинова М.Б. Исследование влияния новых реагентов вспенивателей на обогатимость медно-молибденовой руды	1018
Теміргали І.А., Байгенженов Ө.С., Сәрсенова М.С. Асбест өндірісі қалдықтарынан никель өндіру	1023
Темірхан С.Ф., Чепуштанова Т.А. Технологические исследования пирротинизирующего обжига окисленной свинцово-цинковой руды и промпродукта обогащения ТОО «КАЗЦИНК»	1027
Тойлыбеков С., Мамырбаева К.К. Мыстың негізгі сульфидті минералы – халькопиритті термиялық өңдеуге термодинамикалық талдау	1031
Тулелбергенов А.К., Мамырбаева К.К. Исследование процесса выщелачивания меди из бедных концентратов	1036



КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА

СӘТБАЕВ  SATBAYEV  
УНИВЕРСИТЕТИ UNIVERSITY

# СЕРТИФИКАТ

«САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2021»

**Секция:** «Современное развитие технологий в обогащении полезных ископаемых и металлургии»

**Авторы:** А.Р. МАМБЕТАЛИЕВА., Д.К. ТУРЫСБЕКОВ., Д.Т. АМАНТАЕВ

**Тема:** Усовершенствование технологии флотации медно-молибденовой руды

Директор института МяШИ

К.К. Елемесов

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию  
Амантаев Дастан Торалыулы

7M07223 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых

На тему: «Исследования процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата»

**ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:**

Проведены исследования по флотационному обогащению медно-молибденовой руды месторождения Актогай. Работа Амантаева Д.Т. выполнена на актуальную тему, поскольку в настоящее время существует необходимость вовлечения в комплексную переработку труднообогатимых руд. Выполнен анализ передовых технологий обогащения молибденовых руд с использованием различных флотационных реагентов. Изучен вещественный и минералогический состав медно-молибденовой руды, гранулометрический состав и характер распределения меди и молибдена. По результатам минералогического состава и структуры руды, от размеров вкраплений исследуемой руды определены оптимальные параметры флотационного обогащения руды. Разработана эффективная технология флотационного обогащения медно-молибденовой руды с применением более селективных флотореагентов, позволяющих улучшить технологические показатели флотации в сравнении с базовым реагентным режимом. Проведены исследования по коллективной медно-молибденовой флотации руды с применением базового собирателя и реагента Z-200 в замкнутом цикле с получением коллективного Cu-Mo концентрата. Собиратель Z-200 позволяет, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, увеличить извлечение в коллективный Cu-Mo концентрат меди – на 4,28 %, молибдена – на 6,61 %. При этом содержание меди в коллективном концентрате увеличивается на 1,4 %.

Проведены укрупненно-лабораторные испытания технологии обогащения Cu-Mo руды в цикле селекции с применением модифицированного реагента в сравнении с базовым режимом. Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селекции коллективного Cu-Mo концентрата позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в материалах научно-технических конференций:

- Изучение процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата сборник статей III Международной научно-технической конференции, в 3 т., Минск, 2021

Издательство: Белорусский государственный университет (Минск)

Страницы: 135-138 МИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ-2020 Минск, 03 декабря 2020 года

- Усовершенствование технологии флотаций медно-молибденовой руды САТБАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ «ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ: ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ» Казахстана Журнал Сатбаевский чтения КазНИТУ им.К.И.Сатпаева Казахстана 12.04. 2021г – С

**ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ**

Проделан большой объем магистерской работы. Однако в работе можно отметить следующее замечание: не представлен экономический эффект за счет применения модифицированных реагентов.

**Оценка работы**

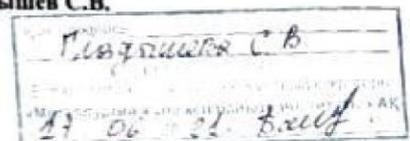
Рецензируемая магистерская диссертация относится к перспективным в области переработки минерального сырья. В целом работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям и заслуживает оценки 95 % («отлично»). Магистрант Амантаев Д.Т. заслуживает присуждения степени магистра по специальности 7M07223 - Металлургия и обогащение полезных ископаемых.

**Рецензент**

К.т.н., в.н.с. лаборатории АО «ИМиО»  
гайнозема и алюминия

Гладышев С.В.

«14» 06 2021г.  
Ф КазНИТУ 706-17. Рецензия



**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую работу

Амантаева Дастан Торалыулы.

По специальности 7M07223 - **Металлургия и обогащение полезных ископаемых**  
на тему «Исследования процесса флотационного обогащения молибдена  
из коллективного концентрата»

Диссертационная работа посвящена разработке методов, повышающих эффективность применения флотации для извлечения ценных компонентов - редких металлов из сульфидных руд и хвостов флотации с использованием новых отечественных реагентов.

Автором в необходимом объеме выполнен литературный обзор сырьевой базы медно-молибденовых руд и технологий их переработки в Республике Казахстан. Исследованы физико-химические свойства медно-молибденовой руды, установлен минеральный состав. Определен оптимальный базовый режим флотации руды.

Новизной диссертации является флотационный способ обогащения медно-молибденовой руды месторождения Актогай с применением модифицированных реагентов. Произведен подбор оптимального соотношения совместно применяемых реагентов, которое составило 1:1. С применением модифицированного реагента получен молибденовый концентрат с содержанием молибдена 46,3 % при извлечении 63,7 % и медный концентрат с содержанием меди 24,2 % при извлечении 89,02 %. В результате исследований показано, что совместное применение модифицированного реагента МФ-2, по сравнению с базовой технологией, позволяет увеличить извлечение молибдена на 4,2 %.

Конечным результатом исследования стала технология переработки медно-молибденовой руды по коллективно-селективной схеме флотации. В коллективном цикле флотации использованы базовый собиратель и реагент Z-200. Собиратель Z-200 позволяет, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, увеличить извлечение в коллективный медно-молибденовый концентрат меди - на 4,28 %, молибдена - на 6,61 %. При этом содержание меди в коллективном концентрате увеличивается на 1,4 % (с 22,8 до 24,2 %).

В цикле селекции испытан модифицированный реагент в сравнении с базовым собирателем. Применение модифицированного реагента МФ-2 в цикле селекции коллективного медно-молибденового концентрата позволяет повысить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 4,5 %.

Также можно отметить, что методики исследований, использованные в магистерской диссертации, могут быть использованы в учебном процессе для развития навыков исследовательской работы у студентов.

Все вопросы, поставленные в магистерской диссертации, решены с достаточной полнотой и на основании этого магистерскую диссертацию можно, считать законченной научно-исследовательской работой.

Основные результаты работы опубликованы в материалах международных научно-технических конференций.

Выполненный объем исследовательской работы соответствует требованиям предъявляемым и магистерским диссертациям, а автор работы Амантаев Дастан Торалыулы заслуживает присуждения академической степени магистра по специальности 7M07223- «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

Научный руководитель PhD доктор



Мамбеталиева А.Р.

14.06.2021г

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

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

Автор: Амантаев Дастан Торалыулы

Название: Исследования процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата

Координатор: Алима Мамбеталиева

Коэффициент подобия 1:2.3

Коэффициент подобия 2:0.7

Замена букв: 17

Интервалы: 0

Микропробелы: 11

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

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

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите.

Дата

Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия**

**заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

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

**Автор:** Амантаев Дастан Торальгулы

**Название:** Исследования процесса флотационного обогащения молибдена из коллективного концентрата

**Координатор:** Алима Мамбеталиева

**Коэффициент подобия 1:2.3**

**Коэффициент подобия 2:0.7**

**Замена букв:17**

**Интервалы:0**

**Микропробелы:11**

**Белые знаки:0**

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

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

**Обоснование:**

*Работа выполнена добросовестно и не обладает признаками плагиата.*

