

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

Корабаев Бейсен Саматович

Исследование гравитационной обогатимости монобаритовой руды
месторождения Улькенсай

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

6M073700-Обогащение полезных ископаемых

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.7.017

На правах рукописи

Корабаев Бейсен Саматович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Исследование гравитационной
обогащаемости монобаритовой руды
месторождения Улькенсай.

Направление подготовки

6M073700 – Обогащение полезных
ископаемых

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент

профессор  Ш.А. Телков
«___» _____ 2020 г.

Рецензент:

Доктор технических наук, зав.лаб.
пиromеталлургии тяжёлых цветных
металлов. АО «Институт
металлургии и обогащения»

 С.А. Квятковский
«___» _____ 2020 г.

Нормоконтроль: Доктор PhD,
ассистент профессор

 И.Ю. Мотовилов
«___» _____ 2020г.



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук

 М.Б. Барменшинова
«___» _____ 2020г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

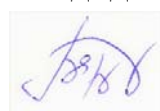
Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ,

Кандидат технических наук



М.Б. Барменшинова

«___» _____ 2020г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Корабаеву Бейсену Саматовичу

Тема: Исследование гравитационной обогатимости монобаритовой руды месторождения Улькенсай

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

Срок сдачи законченной диссертации «07» 07. 2020г

Исходные данные к магистерской диссертации: исследование гравитационной обогатимости баритовых руд

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) исследовать гранулометрический и фракционный состав монобаритовой руды;
- б) определить плотность разделения и гравитационную обогатимость баритовой руды;
- в) исследовать процесс отсадки и флотации баритовой руды;
- г) разработать технологическую схему обогащения баритовой руды.

Перечень графического материала: слайды

ГРАФИК

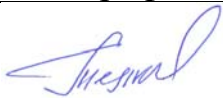
подготовки магистерской диссертации

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

Подписи

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

Наименование раздела	Консультанты И.О.Ф (уч.степень,звание)	Дата подписания	подпись
Введение	Телков Ш.А. к.т.н, доцент, профессор	04.02.2019	
Аналитический обзор литературы		27.02.2019	
Методика исследований		21.06.2019	
Экспериментальная часть		07.10.2019	
Заключение		15.05.2020	
Нормоконтролер	Мотовилов И.Ю. Доктор PhD, ассистент профессор		

Научный руководитель  Ш.А. Телков

Задание принял к исполнению обучающийся  Б.С. Корабаев

Дата « » 2020 г.

АНДАТПА

Осы жұмыста Орта Азия елдерінде, АҚШ пен Қазақстан Республикасында барит кендерінің кен орындарын өнеркәсіптік игеру жағдайына, сондай-ақ барит кендерінің әртүрлі үлгілерін қайта өңдеу технологияларына талдау жасалды.

Талдаудың заманауи әдістерін (гранулометриялық талдау, фракциялық талдау, эксперименттерді жоспарлау) пайдалану арқылы Үлкенсай кен орнының барит кендерінің гравитациялық байытылғыштығы зерттелді.

Зерттеулер нәтижесінде 40 мм дейін уатылған, кендегі ірілік кластары бойынша баритті бөлу анықталды және ірі кесекті тұндыру процесін пайдаланумен олардың гравитациялық байытылғыштығы үшін іріліктің машиналық кластары анықталды.

Баритті тығыздық фракциялары мен ірілік кластары бойынша бөлу сипаты зерттелді. Іріліктің әртүрлі кластары мен қосынды кластары үшін ауыр (концентратты) және жеңіл (үйінді) фракциялар алуға қажетті гравитациялық байытушылық және бөлу тығыздығы анықталды.

Гравитациялық байытылғышты анықтау бойынша зерттеулер нәтижелерінің негізінде Үлкенсай кен орнының монобаритті кендерінде ірілігі әртүрлі машиналық кластарды тұндыру бойынша зерттеулер орындалды.

Баритті флотациялау үшін жинағыштар реагенттері іріктеліп, Үлкенсай кен орнының монобаритті кендерін флотациялау бойынша тәжірибелер жүргізілді.

Зерттеулер бойынша алынған нәтижелер негізінде гравитациялық және флотациялық процестерді пайдаланумен байытудың оңтайлы сұлбалары әзірленді.

Кендердің аталған үлгілерінде іріліктің жоғарғы шегі 40 – 10 мм болатын ірі кесекті тұндыру процесін пайдалану мүмкіндігі дәлелденді.

АННОТАЦИЯ

В работе выполнен анализ состояния промышленного освоения месторождений баритовых руд в странах Средней Азии, США и республике Казахстан, а также технологий переработки различных типов баритовых руд.

С использованием современных методов анализа (гранулометрический анализ, фракционный анализ, планирование экспериментов) исследована гравитационная обогатимость баритовых руд месторождения Улькенсай.

В результате исследований определено распределение барита по классам крупности в руде, дробленной до 40 мм и определены машинные классы крупности для их гравитационного обогащения с использованием процесса крупнокусовой отсадки.

Исследован характер распределения барита по фракциям плотности и классам крупности. Определена гравитационная обогатимость и плотность разделения, необходимая для получения тяжелых (концентратных) и легких (отвальных) фракций для различных классов крупности и суммарных классов.

На основании результатов исследований по определению гравитационной обогатимости, выполнены исследования по отсадке различных машинных классов крупности на монобаритовой руде месторождения Улькенсай.

Выполнен подбор реагентов собирателей для флотации барита и проведены эксперименты по флотации монобаритовой руды месторождения Улькенсай.

На основании полученных результатов исследований разработаны оптимальные схемы обогащения, с использованием гравитационных и флотационных процессов.

Доказана возможность использования на данных типах руд процесса крупнокусовой отсадки с верхним пределом крупности 40-10 мм.

ANNOTATION

The study analyzes current condition of commercial development of barite ore deposits in Central Asia, the USA and the Republic of Kazakhstan, as well as technologies for processing various types of barite ores.

Gravity concentration of Ulkensai deposit barite ores using modern methods (particle size analysis, specific gravity analysis and experiment planning) was analyzed.

As the result, the research determined barite distribution as per grain size categories in ore crushed to 40 mm, as well as mechanical grain size for gravity concentration using large-sized jigging.

The characteristics of barite distribution as per density fractions and particle size categories have been studied. We determined gravity concentration properties and separation density required for producing sink (concentration) and float (dump) fractions for various grain size categories and aggregated categories.

Based on the results of gravity concentration studies, jigging of different mechanical grain size categories of mono barite ore of Ulkensai Deposit was investigated.

Collecting agents for barite flotation were selected and experiments with Ulkensai Deposit mono barite ore flotation were carried out.

Based on the results obtained, optimal concentration schemes using gravity and flotation processes have been developed.

The possibility of using lumpy jigging process with an upper grain size limit of 40-10 mm with these types of ores was verified.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Аналитический обзор	11
1.1 Барит как минерал. Промышленно-генетические типы баритовых месторождений	11
1.2 Технология переработки баритовых руд. Основные методы и виды оборудования для обогащения	17
1.3. Анализ литературного обзора и постановка задач исследований	24
2. Методы исследований	25
2.1 Гранулометрический анализ	25
2.2 Промывка руды	25
2.3 Фракционный анализ	25
2.4 Гравитационное обогащение	25
3 Основные результаты работы	27
3.1 Исследование гравитационной обогатимости баритовых руд	27
3.1.1 Объекты исследований	27
3.1.2 Гранулометрический состав исследуемой пробы	28
3.2 Фракционный анализ и гравитационная обогатимость баритовой руды	30
3.2.1 Анализ распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности при дроблении руды до 40 мм	30
3.2.2 Анализ распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности при дроблении руды до 10 мм	34
3.2.3 Определение плотности разделения и индекса гравитационной обогатимости	37
3.3 Исследование процесса отсадки дробленной руды	42
3.4. Выбор рекомендуемой технологической схемы обогащения руд месторождения Улькенсай с использованием процесса отсадки	43
3.5. Исследование процесса флотации промпродуктов отсадки дробленной руды месторождения Улькенсай	46
Заключение	50
Список использованной литературы	52
Приложение А. Список опубликованных и находящихся в печати работ по теме диссертации	55
Приложение Б. Оттиски опубликованных работ по теме диссертаций	56

ВВЕДЕНИЕ

Минерально-сырьевая база Республики Казахстан характеризуется многообразием полезных ископаемых, большим количеством разведанных месторождений и крупными запасами минерального сырья.

В связи с этим социально-экономическое развитие республики на современном этапе тесно связано с нефтегазодобывающим комплексом, обеспечивающим основную долю экспорта и иностранных инвестиций в экономику страны [1].

Необходимо отметить, что Казахстан является крупнейшей баритоносной областью мира. В недрах его заключено более 30 % общемировых запасов баритовых руд, причем 80 % их приходится на барит - сульфидные руды, 20 % на месторождения собственно баритового типа. Основные запасы барита сосредоточены в Центральном Казахстане и некоторая их часть порядка 24 % - в Южном Казахстане [2].

В период до середины 90-х годов баритовые концентраты получались в основном, при переработке барит-полиметаллических руд флотационным способом. В настоящее время основной областью применения баритовых концентратов является использование их в качестве утяжелителей буровых растворов при бурении нефтяных и газовых скважин [3]. Однако, флотационные баритовые концентраты омаслены реагентами, что при использовании их в качестве утяжелителей буровых растворов ухудшает их реологические свойства. В связи с этим в последнее время флотационные концентраты практически не используются.

В настоящее время открыты и вовлекаются в переработку чисто монобаритовые месторождения. Для получения баритовых концентратов из этих руд необходимо применение гравитационных схем обогащения, так как гравитационные баритовые концентраты не имеют указанных выше недостатков и эффективно используются в нефтегазовой промышленности.

Наметившийся рост добычи нефтегазовой продукции Республики Казахстан увеличит объем бурения, а в связи с этим увеличатся и объемы потребления баритовых концентратов [4].

На основании выше изложенного можно отметить, что исследования по разработке технологии гравитационного обогащения монобаритовой руды месторождения Улькенсай являются **актуальными**, а использование гравитационных процессов значительно упрощает схему обогащения и более экономически эффективны.

На основании выше изложенного, **целью магистерской диссертации** является исследование гравитационной обогатимости руды месторождения Улькенсай и разработка оптимальных технологий ее переработки.

Объектом исследования являлись монобаритовые руды месторождения Улькенсай.

Предмет исследования – разработка технологии обогащения с получением концентрата с содержанием барита более 90 % и плотностью не менее 4200 кг/м³.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- исследовать гранулометрический состав дробленых руд и характер распределения барита по классам крупности;
- исследовать фракционный состав дробленых руд и характер распределения барита по фракциям плотности и крупности;
- определить плотности разделения необходимых для выделения тяжелых (концентратных) и легких (отвальных) фракций;
- определить гравитационную обогатимость баритовой руды;
- исследовать процесс отсадки руд;
- разработать технологическую схему обогащения баритовой руды месторождения Улькенсай с применением гравитационных процессов обогащения и в частности отсадки;

Научная новизна работы. Впервые выполнены исследования по обогащению баритовых руд месторождения Улькенсай с применением процесса отсадки.

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке технологии переработки баритовых руд месторождения Улькенсай с применением высокопроизводительных, экологически чистых и экономически эффективных гравитационных процессов обогащения.

1 Аналитический обзор

1.1 Барит как минерал. Промыленно-генетические типы баритовых месторождений

Барит BaSO_4 - природный сульфат бария, следует отметить, что сам по себе металл барий имеет узкий спектр применения. Основными технологическими свойствами, определяющими главные области его промышленного использования, являются:

- высокая плотность (4,2-4,6 т/м³);
- низкая твердость и, соответственно малая абразивность;
- химическая инертность;
- высокое (65,7 % BaO) содержание бария;
- белизна порошка;
- способность поглощать рентгеновское излучение.

Высокая плотность в сочетании с низкой абразивностью и химической инертностью обуславливают главную область его использования - применение в качестве оптимального утяжелителя буровых растворов (70 % мирового потребления) [5].

Баритовые минералы в основном подразделяются на два главных промышленных типа месторождений - собственно мономинеральные баритовые месторождения и комплексные баритсодержащие полиметаллические месторождения. При этом в числе первых выделяются баритовые стратиформные (осадочные), жильные (гидротермальные) и остаточные (коры выветривания) месторождения. В числе вторых- комплексных баритсодержащих месторождений - известны барит-полиметаллические, барит-колчеданно-полиметаллические и другие типы. Барит-сульфидная группа месторождений является определяющей как в запасах, так и в добыче барита.

В пределах каждого из двух этих типов баритовых месторождений имеются, в зависимости от геологических условий и состава вмещающих пород и руд, свои геолого-промышленные подтипы. В общем виде их классификация и основные особенности подразделяются на 2 основные группы.

I-ю группу составляют три геолого-промышленных типа руд - монобаритовые, барит- полиминеральные (с целестином, кальцитом, флюоритом и др.) и барит-железистые руды;

II-ю группу - тоже три типа: барит- свинцово-цинковые, барит-медно-свинцово-цинковые и барит- колчеданно-полиметаллические [6].

Более 91 % общих запасов барита связано с комплексными барит-сульфидными месторождениями и всего около 9 % - с собственно баритовыми рудами. В странах СНГ на долю комплексных барит-сульфатных месторождений приходится основная часть добычи руд и

производства баритовых концентратов, в зарубежных странах доля добычи собственно баритовых руд значительно выше.

По запасам барита обе группы месторождений подразделяются на четыре категории: весьма крупные, крупные, средние и мелкие. При этом количественные показатели запасов руд для каждой из групп разные. В группе собственно баритовых месторождений, в которых барит является единственно полезным минералом, к весьма крупным относятся месторождения с запасами барита более 5 млн. тонн, к крупным - 0,5-5,0 млн. тонн, к средним - 0,1-0,5 млн. тонн и к мелким - менее 0,1 млн. тонн. В группе комплексных барит-сульфидных месторождений к весьма крупным относятся объекты с запасами барита более 20 млн. тонн, к крупным - с запасами 10-20 млн. тонн, к средним - 1-10 млн. тонн и к мелким - менее 1 млн. тонн.

По минеральным ассоциациям баритовые руды могут быть подразделены на два природных и соответствующих им технологических типа: баритовый и баритосодержащий. Первый из них включает четыре минеральных ассоциации, в которых барит является главным рудообразующим минералом: существенно баритовую, кварц-баритовую, кальцит-баритовую, песчано-глинисто-баритовую.

В баритосодержащем типе руд барит играет подчиненную роль. Этот тип включает три минеральных разновидности руд: барит-сульфидную, барит-флюоритовую и барит-железистую.

Минеральная ассоциация в барит-сульфидных рудах представлена, в основном, баритом и сульфидами свинца, цинка, меди, железа; в ряде случаев присутствуют благородные металлы (Au, Ag) в количествах, допускающих их промышленное извлечение. Матрица руды, как правило, представлена, кварцем, кальцитом, доломитом, хлоритом, полевым шпатом, реже флюоритом. Содержание барита обычно составляет 5-20 %, иногда достигает 40-70 %. Выделяют разновидности - барит-галенит-сфалерит-серебросодержащую, барит-галенит-сфалеритовую с блеклой рудой, барит-пирит-галенит-сфалеритовую и другие.

В составе барит-флюоритовых руд преобладают кварц, кальцит и барит с флюоритом, иногда присутствуют в количестве от десятых долей до первых процентов галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, марказит, анкерит, лимонит. Содержания бария колеблются от 15 до 60 %.

Барит-железистые руды слагаются баритом и минералами железа. Содержания барита - обычно первые десятки %, не более 50 %. Минералы железа представлены магнетитом, гематитом, сидертом, иногда в рудах присутствуют пирит, халькопирит, галенит. В зоне окисления развиты обычно лимонит, гетит, гидрогетит. Нерудные минералы представлены преимущественно кальцитом, кварцем, доломитом. Технологические свойства основных минералов баритовых руд представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технологические свойства основных минералов баритовых руд

Минерал и его формула	Плотность т/м ³	Твердость по шкале Мооса	Уд. магнитная восприимчивость п. 10 ⁻⁹ м ³ /кг	Теплоемкость, Дж/моль. К	Относительная магнитная проницаемость	Температура плавления t° С
Барит BaSO ₄	4,5	3-3,5	-0,28	102,1	5,2-12,0	1580
Витерит BaCO ₃	4,43	3,75	-0,298	75,1	7,03	1440
Кварц SiO ₂	2,65	0,493	-44,6	7	4,4-6,0	1728
Кальцит CaCO ₃	2,71	3	0,3-21,8	83,5	7,0-9,3	750
Доломит CaMg(CO ₃) ₂	2,85	3,5-4	0,1	-	6,3-8,5	750
Флюорит CaF ₂	3,18	4	-0,36	67	6,2-8,4	1418

По текстурно-структурным признакам баритовые руды делятся на "мягкие" и "плотные". К "мягким" относятся крупнозернистые, легко поддающиеся измельчению руды, сложенные преимущественно баритом с хорошо выраженной спайностью. К "плотным" - мелкокристаллические трудно-измельчаемые руды, матрица которых представляет собой чаще всего тонкие прорастания агрегатов барита с кварцем или карбонатами.

По содержанию сульфата бария в каждом промышленном типе выделяют три технологических сорта руд: богатые - более 70 % BaSO₄; рядовые – 40–70 % BaSO₄ и бедные - менее 40 % BaSO₄ [7].

Мировые ресурсы барита в земной коре оцениваются цифрой порядка 2 млрд. тонн. Сюда входят:

- 1) разведанные запасы, на базе которых можно вести проектирование и строительство горно-перерабатывающих предприятий;
- 2) предварительно оцененные по поисково-разведочным данным запасы;
- 3) прогнозные запасы или ресурсы, учитываемые по данным поисковых работ.

Разведанные и предварительно оцененные запасы составляют в сумме общие запасы, которые для барита оцениваются примерно в одну треть мировых ресурсов - около 617 млн. тонн, в т.ч. подтвержденные запасы - 374 млн. тонн.

Эти запасы разведаны и учтены в 60-и странах, при этом, большинство стран мира характеризуется сравнительно небольшими

запасами барита - от 100 тысяч тонн до 1-5 млн. тонн. Страны с промышленно значимыми крупными запасами размером от 5 млн. тонн барита и выше сравнительно немногие: всего 13 стран из 60, в том числе 5 стран (Казахстан, Китай, США, Индия и Россия) имеют запасы от 15 млн. тонн и выше каждая и концентрируют около 70 % общих и разведанных запасов барита в мире. Лидирует в этом списке **Казахстан**, где сосредоточено 190 млн. тонн общих запасов барита, в т. ч. 152 млн. тонн разведанных запасов, или 40,66 % от всех подтвержденных запасов барита в мире. На втором месте по количеству общих запасов барита **Китай**, где их насчитывается 150 млн. тонн. Однако по разведанным (подтвержденным) запасам Китай резко отстает от Казахстана: 40 млн. тонн барита, или 10,7 % мировых. Третье, четвертое и пятое места в этой таблице занимают, соответственно, **США** (30 млн. тонн разведанного барита, или 8,02 % от мировых запасов), Индия (21 млн. тонн, или 5,62 %) и Россия (15,1 млн. тонн, или 4,04 %).

В месторождениях этих пяти стран сосредоточено 258,1 млн. тонн подтвержденных запасов барита, или 69,4 % всех разведанных запасов барита в мире. Общие запасы его в этих пяти странах - 431,6 млн. тонн, или 69,94 % мировых запасов [8].

Казахстан является крупнейшей баритоносной провинцией мира, в недрах его заключено более 30 % общемировых запасов этого минерала, причем 80 % их приходится на барит-сульфидные руды, 20 % - на месторождения собственно баритового типа. Основные запасы барита сосредоточены в Центральном Казахстане (72 %), меньше (23,6 %) - в Южном Казахстане и всего 4,3 % - в Восточном Казахстане.

В первом из них месторождения находятся в Атасуйском и Каркаралинском рудных районах. В основном, здесь представлены месторождения атасуйского типа (6 месторождений), среди них наиболее крупные разрабатываемые - Жайрем и Карагайлы, а также Бестюбе, Кентюбе, Жуманай и другие. Все они представлены линзо- и пластообразными залежами, реже столбообразными телами и зонами прожилкования, залегающими в терригенно-карбонатных, карбонатно-кремнистых породах. Залежи и тела протягиваются на 700-1600 м, прослежены по падению на 200-800 м, имеют мощность до 100 м. Запасы барита в каждом из месторождений насчитывают 10-20 млн. тонн. Состав рудных тел - барит-галенит-сфалеритовый с блеклой рудой; содержание барита 5-20, иногда 40 %. Имеются и кварц-баритовые тела с содержанием барита 70 %.

В Южном Казахстане, в горах Каратау развиты месторождения миргалимсайского типа - Ансай, Миргалимсай. Они представлены согласными пластообразными телами, залегающими в карбонатных толщах и простирающимися на 200 м при мощности 2-15 м, содержат 7-30 % барита при запасах 10-20 млн. тонн BaSO_4 . Состав тел - барит-

галенит-сфалеритовый, руды прожилково-вкрапленные. Имеются также и кварц-баритовые тела с 70 % BaSO_4 .

В кремнисто-сланцевых толщах Чу-Илийской зоны Южного Казахстана расположено и крупнейшее стратиформное месторождение Чиганак.

Сырьевая база барита в Восточном Казахстане представлена исключительно колчеданно-полиметаллическими месторождениями. Основные запасы сосредоточены в Майкаинской группе месторождений (Павлодарская область). Здесь развиты пласто- и линзообразные согласные залежи, лентовидные и жилородные тела, сложные залежи, простирающиеся по длине до 1500 м, по падению до 900 м, мощностью до 90 м. Состав тел барит-галенит-сфалерит-пиритовый с блеклыми рудами. Содержание барита низкое - обычно 5-20 %, редко до 40 %. По запасам это мелкие (до 1 млн. тонн барита) и средние (1-10 млн. тонн барита) месторождения [9].

Китай. Основными баритовыми районами Китая, где организованы добыча и производство баритовых концентратов, являются провинции Хэбэй, Шеньдун, Гуанси и Шянси. В последние годы сделаны новые открытия в рудном поясе Гуанси -Гуйчжоу-Хунань.

Среди баритовых месторождений Китая выделяется 5 генотипов:

1. Осадочный - с двумя подтипами осадконакопления аналогичен общепринятому стратиформному типу;
2. Жилы систем трещин и разрывов вмещающих пород;
3. Гидротермальные жилы, генетически связанные с изверженными породами, образованные в мезотермальную стадию постмагматического этапа;
4. Вулканогенные месторождения;
5. Месторождения выветривания, представляющие собой вторичные склоновые залежи, образованные за счет разрушения первичных жильных месторождений.

Наиболее крупными среди этих типов являются месторождения первого типа.

Следует отметить, что появление Китая на мировом рынке барита в качестве ведущего продуцента явилось во многом неожиданным. Это можно объяснить только лишь проводимой государством в течение многих лет политики "закрытости" геолого-сырьевой информации. Значительные ресурсы и запасы барита в КНР были известны давно, однако открытые публикации о сырьевом потенциале этой страны, в т.ч. и о сырьевых ресурсах барита стали появляться лишь в последние годы.

США. Занимают третье место по запасам и производству барита. Однако, если по запасам страна уступает Казахстану и Китаю, то по производству (543 тыс. тонн в 1995 г.) США на третьем месте после Китая

(1500 тыс. тонн в 1995 г.) и Индии (575 тыс. тонн в 1995 г.). Казахстан, как известно, снизил в 1995-1996 гг. производство барита до 50 тыс. тонн в год.

Месторождения барита на территории США распространены достаточно широко и встречаются в образованиях самого различного возраста и происхождения. Выделяются три геолого-промышленных типа баритовых месторождений: пластовый (стратиформный), жильный и россыпи.

Среди пластовых месторождений ведущим промышленным типом является стратиформный в раннегеосинклинальных толщах кремнисто-сланцевого состава. Рудные тела месторождений этого типа имеют протяженные на многие сотни метров пласты мощностью до 15 м, а отдельные и до 30 м, и содержат от 50 до 95 % сульфата бария.

Порядка 20 % разведанных запасов барита в США заключено в месторождениях жильного типа, которые приурочены к зонам разрывных нарушений или плоскостям напластования.

Обогащение производится методами гравитации или флотации, или их комплексом.

Остаточные месторождения барита в США являются важным источником получения высококачественного барита, используемого как в химической промышленности, так и в качестве наполнителя. Месторождения барита залегают в коре выветривания известняков и доломитов кембрия и ордовика. Барит белого цвета, представлен отдельными скоплениями (округлыми, плоскими, вытянутыми, неправильной формы и т.п.) от микрочастиц до валунов, в среднем размером 2,5-15 см. Качество руды зависит от характера первичной минерализации, степени концентрации барита в коре выветривания и варьирует в значительных пределах. Содержание барита в остаточных месторождениях США составляет в среднем 12–20 %, по отдельным - до 50 %.

Индия. Месторождения барита в ней многочисленны, и перспективные ресурсы минерала весьма значительны.

Общие ресурсы барита в известных рудных районах Индии оцениваются в 50 млн. тонн.

Россия замыкает пятерку стран мира с самыми значительными разведанными запасами барита.

Разведанные запасы сосредоточены в четырех экономических районах: Северном (8,6 %), Уральском (16,3 %), Западно-Сибирском (49,9 %) и Восточно-Сибирском (25,0 %). Более половины разведанных запасов (54,3 %) заключено в рудах 15-и комплексных сульфидно-баритовых месторождений, остальное (45,7 %) - в 5-и собственно баритовых месторождений. Руды первого типа - низкокачественные, среднее содержание $BaSO_4$ в них 14,5 %. Собственно, баритовые руды более богаты: содержат 51 % $BaSO_4$ в среднем, в т.ч. коренные - 72-85 %, коры

выветривания -22,8 %; техногенные (эфельные отвалы) -35,9-43,8 % [10].

1.2 Технология переработки баритовых руд. Основные методы и виды оборудования для обогащения

Среди месторождений баритовых руд выделяют два основных типа: собственно, баритовые и комплексные. В первых барит, как правило, единственный полезный минерал, во-вторых барит извлекают попутно с другими полезными компонентами.

В практике обогащения баритовых руд используют механические, химические, термические и другие методы. Основными методами обогащения баритсодержащих руд являются гравитационные, флотационные и их комбинации. В таблице 2 приведены основные методы обогащения баритовых руд в зависимости от их типа.

Собственно, баритовые руды являются сравнительно легко обогащаемыми. Так, песчано-глинистые баритовые руды перерабатывают по схеме, включающей промывку от тонких классов и последующую сортировку. Существенно баритовые, кварц-баритовые и карбонат-баритовые руды обогащают преимущественно методами гравитации.

В некоторых случаях применяют комбинированные схемы. С целью повышения извлечения барита из хвостов гравитации и до измельченных промпродуктов осуществляют флотацию барита.

Для этих руд, как правило, схема переработки включает дробление, классификацию по классам, а затем обогащение материала в тяжелых средах, отсадочных машинах и на концентрационных столах, в шлюзах, хвосты гравитации до измельчают до 70 мкм и флотируют тонкозернистый барит.

Обогащение комплексных руд осуществляют, как правило, по сложным флотационным схемам. Руды этого типа обычно тонко вкрапленные, имеют сложный вещественный состав.

Технология включает: многостадийные схемы подготовки руды - дробление, измельчение, классификацию; флотацию сульфидных минералов (свинца, цинка), а затем из хвостов сульфидной флотации при достаточном содержании барита попутно извлекают барит. Схема получения баритового концентрата обычно включает основную, контрольную флотации барита и несколько перечистных операций (от двух до четырех).

Для каждой стадии обогащения характерны свои флотореагенты и расходы, так, на переделах сульфидной флотации это ксантогенаты, аэрофлоты в качестве собирателей, вспениватели, модификаторы - сернистый натрий, цианистый натрий, цинковый и медный купорос, а также жидкое стекло и др. Для флотации барита используют олеиновую

Таблица 2 - Основные методы обогащения баритовых руд

Тип руды		Методы обогащения		
Минеральный	Технологический	Гравитационные	Флотационные (основные реагенты)	Другие
Баритовый	Существенно баритовый	Тяжелосредняя сепарация концентрация на столах и шлюзах	Алкнлсульфаты, амины, жидкое стекло	Флотация
	Кварц - баритовый	Отсадка, концентрация на столах, тяжелосредняя сепарация	Таловое масло, жидкое стекло, кальцинированная сода, пальмитиновая, стеариновая, аминная кислоты и их смеси	Флотация
	Кальцит- баритовый	Отсадка, концентрация на столах, тяжелосредняя сепарация	Олеиновая кислота, таловое масло, жидкое стекло, "Таломас"	Флотация
	Песчано -глинистобаритовый	Промывка, сортировка		
Сульфидно-баритовый	Барит-галенит-сфалерит-серебросодержащий		Баритол, олеиновая кислота, таловое, масло, жидкое стекло, полиакриламид, кальцинированная сода, известь	Флотация
	Барит-галенит-сфалеритовый с блеклыми рудами			Флотация
	Барит-галенит-сфалерит-пиритовый с блеклыми рудами			Флотация
Флюорит-баритовый	Кварц (кальцит)-флюорит-баритовый, сидерит-гематит-флюорито-баритовый	Тяжелосредняя	Диталан, жидкое стекло, лимонная кислота, хлорид бария, сульфат натрия	Электрическая сепарация, флотация
Железо-баритовый	Магнетит- гематит- баритовый, сидерит- баритовый, лнмонит-баритовый		Таловое масло (легкая фракция)	Магнитная сепарация, флотация

кислоту, талловое масло, баритол, алкилсульфаты и алкилсульфонаты в качестве собирателей, а также сосновое масло, жидкое стекло, кальцинированную соду, известь, полиакриламиды и др. Набор реагентов, их сочетание и расходы определяются в каждом конкретном случае на стадии изучения обогатимости конкретной руды и уточняются на стадиях разработки технологической схемы в лабораторном и опытно-промышленном масштабе [11].

В случае наличия в комплексных рудах благородных металлов технология их переработки значительно усложняется. Так, для кварц-баритовых руд, содержащих сульфиды цветных и черных металлов, а также золото, схема должна иметь следующие операции: амальгамация, концентрация на шлюзах, флотация сульфидов, затем благородных металлов, цианирование хвостов флотации, а уже затем извлечение барита из хвостов обработки [12].

С целью повышения качества конечных продуктов или руды наряду с традиционными методами обогащения баритсодержащих руд (гравитация, флотация) используют и специальные методы, например, декрипитация, химическое отбеливание, магнитная, электрическая и радиометрическая сепарации. Декрипитация (процесс термического обогащения) заключается в избирательном разрушении некоторых минералов при нагревании и последующем охлаждении. Причинами разрушения могут быть: находящаяся в минералах кристаллизационная вода, которая при нагревании вызывает сильное внутреннее давление, разрушающее кристаллы; различная теплопроводность и разные коэффициенты расширения при нагревании и охлаждении, вызывающие сильные местные напряжения, что приводит к растрескиванию минералов; это может быть также следствие перехода кристаллов минералов из одной аллотропической модификации в другую. Различие в поведении пустой породы и барита при нагревании лежит в основе процесса обогащения барита декрипитацией. Обоженную руду или концентрат подвергают избирательному измельчению в шаровых мельницах, а затем классификации на грохотах или воздушной сепарации [13].

Химическое отбеливание баритовых концентратов применяют для получения барита, используемого в лакокрасочной, электроламповой и других отраслях промышленности.

Так, для получения барита, применяемого в качестве наполнителя в лакокрасочной промышленности, обычно нормируют коэффициент яркости (не менее 80 усл.ед.). В этом случае химическое отбеливание баритового концентрата производят в процессе его тонкого измельчения в слабых растворах минеральных кислот (серной или соляной). Выщелоченный продукт подвергают затем многократной отмывке, обезвоживанию и сушке. Измельчение концентратов, полученных гравитацией или флотацией, до крупности 20 мкм улучшает отбеливание благодаря раскрытию зерен барита и более полному выщелачиванию

железосодержащих минералов. В результате получают молотый отбеленный барит.

В производстве высококачественных эмалей и красок специального назначения используют отбеленный микробарит, который получают из молотого отбеленного барита путем его дополнительного измельчения в струйных мельницах и кислотной обработки [14].

Для повышения качества концентратов и в некоторых случаях на стадиях обогащения руд, например, флюорит-баритовых, применяют специальные методы обогащения. Разработан способ очистки концентрата от примесей железа, включающий предварительный обжиг руды и последующую магнитную сепарацию. Известно также, когда руду измельчают до 1 мм, обесшламливают по классу 74 мкм, зернистую фракцию сушат, нагревают до 200-250 °С и направляют на электрическую сепарацию.

Предварительное обогащение руды возможно осуществить радиометрическими методами (рентгенолюминесцентный, рентгено-радиометрический, гамма-абсорбционный и фотометрический). Последний, фотометрический метод имеет предпочтение. Принципиальная схема включает дробление до крупности -40 мм, отсев класса -20 мм и отмывку класса крупнее 20 мм, основную и контрольную фотометрическую сепарацию материала +20 мм с получением товарного баритового концентрата с содержанием >92 % BaSO₄, отвальных хвостов с выходом ориентировочно около 30 % с содержанием до 10 % и промпродукта. Отсев -20 мм с промпродуктом сепарации направляют на обогатительную фабрику [15].

Принципиальные технологические схемы переработки собственно баритовых и барит - полиметаллических руд приведены на рисунках 1 и 2 [16].

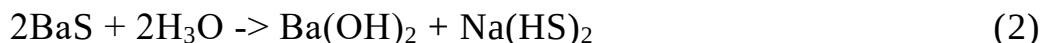
Наряду с баритовым концентратом в различных отраслях промышленности достаточно широко применяются различные соединения бария (хлорид, карбонат, нитрат, гидроокись и окись) и барий металлический. Для их получения барит подвергается металлургической переработке.

Главным промышленным методом разложения баритового концентрата является его восстановительный обжиг с углем при температуре 1000-1100 °С с целью получения растворимого в воде сульфида бария. Процесс идет по следующим реакциям:

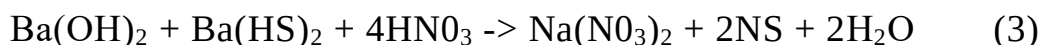


Переработка барита ведется в барабанных печах непрерывного действия, обогреваемых газом или нефтью. Шихта измельченного барита и кокса подается в верхнюю часть печи и самотеком перемещается вниз навстречу раскаленным газом. Спек после восстановления пересыпается в

специальный вращающийся железный барабан для охлаждения. Далее спек подвергается мокрому измельчению в шаровых мельницах, затем водному выщелачиванию при температуре 80-90 С. В результате сульфид бария подвергается гидролизу с образованием гидроокиси и гидросульфида:



Далее к полученному раствору добавляется азотная кислота, в результате образуется растворимый азотнокислый барий и сероводород:

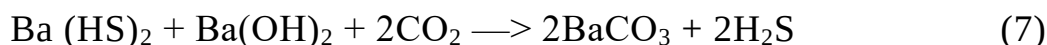
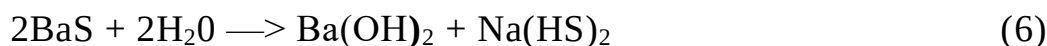


Полученный раствор после удаления H_2S выпаривается, и выпавшие кристаллы высушиваются. Для получения хлористого бария, барит прокаливается в барабанных печах с углем в присутствии хлористого кальция:



Полученный сплав, содержащий 60-70% BaCl_2 , измельчается и выщелачивается водой, раствор затем упаривают [17].

Производство углекислого бария осуществляется обработкой сернистого бария водой, а затем углекислотой при температуре 30-40 °С:



Окись бария получают термическим разложением азотнокислого или углекислого бария (или минерала витерита) в присутствии угля при температуре 1000-1200 °С [18].



Металлический барий производится алюмотермическим восстановлением оксида бария. Процесс происходит при температуре 1100-1200 °С в вакуумных аппаратах периодического действия. Образующийся барий возгоняется и осаждается на холодных стенках аппарата. Технология предусматривает последовательное проведение всех необходимых операций: восстановление, дистилляция, конденсация, плавление и отливка металла в изложницу [19].



Рисунок 1 - Принципиальная схема обогащения баритовых руд

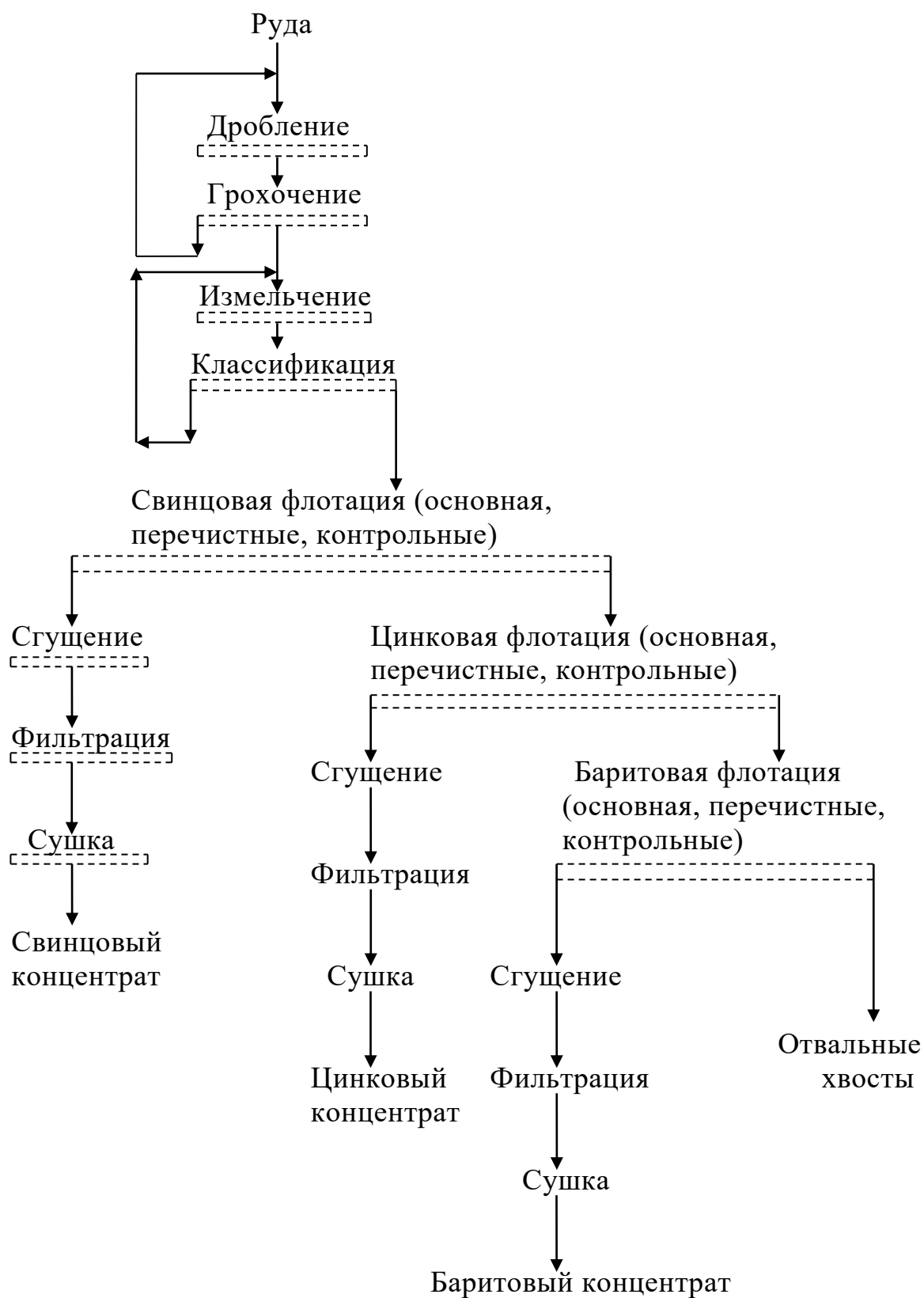


Рисунок 2 - Принципиальная схема обогащения барит-полиметаллических руд.

1.3 Анализ литературного обзора и постановка задач исследований

Проведенный анализ литературного обзора позволил сделать следующий вывод:

- в предыдущие годы баритовые концентраты получались в основном, при переработке барит-полиметаллических руд флотационным способом. При этом необходимо отметить, что в настоящее время основной областью применения баритовых концентратов является использование их в качестве утяжелителей буровых растворов при бурении нефтяных и газовых скважин. Однако, флотационные баритовые концентраты омаслены реагентами, и при использовании их в качестве утяжелителей буровых растворов ухудшают их реологические свойства. В связи с этим в последнее время флотационные концентраты практически не используются.

В настоящее время открыты и вовлекаются в переработку чисто монобаритовые месторождения. Для получения баритовых концентратов из этих руд необходимо применение гравитационных схем обогащения, так как гравитационные баритовые концентраты не имеют указанных выше недостатков и эффективно используются в нефтегазовой промышленности.

На основании выше изложенного, целью магистерской диссертации является исследования по разработке технологии гравитационного обогащения монобаритовой руды месторождения Улькенсай, так как использование данной технологии значительно упрощает схему обогащения и экономически эффективно.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать гранулометрический состав дробленых руд и характер распределения барита по классам крупности;
- исследовать фракционный состав дробленых руд и характер распределения барита по фракциям плотности и крупности;
- определить плотности разделения необходимых для выделения тяжелых (концентратных) и легких (отвальных) фракций;
- определить гравитационную обогатимость баритовой руды;
- исследовать процесс отсадки руд;
- разработать технологическую схему обогащения баритовой руды месторождения Улькенсай с применением гравитационных процессов обогащения и в частности отсадки.

2 Методы исследований

2.1 Гранулометрический анализ

Для определения состава руды использован набор сит КСМ с размерами отверстий, мм: 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63. После отсева от каждого класса крупнее 0,63 мм отмывались шламы, которые присоединялись к классу -0,63+0 мм [20,21,22].

2.2 Промывка руды

Промывка руды осуществлялась путем перемешивания пробы руды с водой в цилиндрической ёмкости с последующей промывкой на ситах со следующими размерами отверстий: 50; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 и 0,063 мм [20,21,22,23].

2.3 Фракционный анализ

Каждый из классов крупности (40–20 мм, 20–10 мм, 10–5 мм, 5–2,5 мм, 2,5–1,25 мм, 1,25–0,63 мм и 0,63–0 мм) исследуемой пробы руды подвергался расслоению в растворах тяжелой жидкости «Клеричи» (муравьино-малоновый таллий) на фракции плотностью (кг/м³): менее 2800, 2800-3000, 3000-4000 и более 4000 [24]. Полученные фракции отмывались от растворов жидкости, высушивались, взвешивались, дробились и измельчались для отбора проб на химический анализ.

Для каждого класса рассчитывались и строились кривые обогатимости, после чего рассчитывались и строились кривые обогатимости для суммарных классов.

2.4 Гравитационное обогащение

Для обогащения дробленной крупнокусковой руды от 40 до 2,0 мм использовался лабораторный пульсатор с пневматическим приводом [25,26]. Частота пульсаций составила 50-75 колебаний в минуту, амплитуда колебаний 90-120 мм, цикл пульсаций синусоидальный (50-0-50), диаметр камеры 250 мм, размер отверстий решета – 2 мм, высота естественной постели 200-250 мм и удельная нагрузка 10 т/ч·м².

Для обогащения руды, мельче 2 мм, использовалась лабораторная 2-х камерная диафрагмовая отсадочная машина типа ОМЛ ЦНИГРИ при

удельной производительности 5-7 т/ч·м², частоте пульсаций 150-250 кол/мин, высоте искусственной постели 40-60 мм, амплитуде пульсаций 6-10 мм.

3 Основные результаты работы

3.1 Исследование гравитационной обогатимости баритовых руд

3.1.1 Объекты исследований

На исследование поступила проба баритовой руды дробленной до 40 мм, в которой присутствовало большое количество глинистых фракций. После естественной подсушки пробы на открытом воздухе, руда перемешивалась и усреднялась методом «кольца и конуса», после чего из нее методом квартования были отобраны пробы для исследований [27]. Схема разделки пробы руды приведена на рисунке 3.

С целью определения оптимальной крупности дробления исходной руды исследования гравитационной обогатимости проводились на руде, дробленной до 40мм и 10мм.

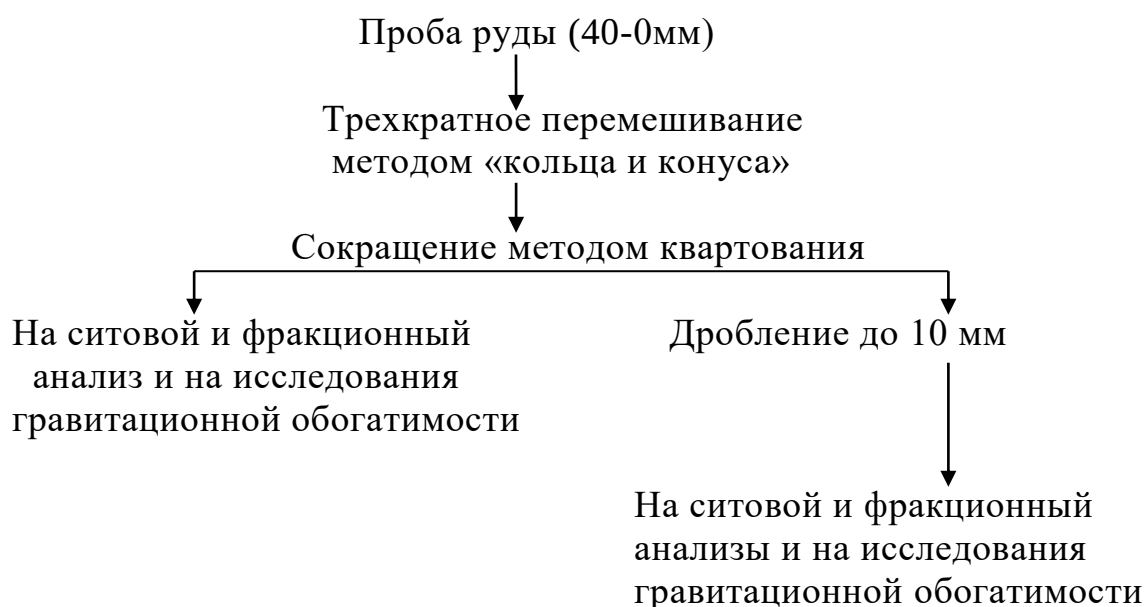


Рисунок 3 - Схема разделки пробы

3.1.2 Гранулометрический состав исследуемой пробы

Первоначально был выполнен сухой ситовой анализ, результаты которого приведены в таблице 3. После этого все классы крупности подвергались отмывке и мокрому севу, результаты которого приведены в таблице 4.

Таблица 3 - Результаты сухого ситового анализа руды, дробленной до 40 мм

Классы крупности, мм	Выход, %		
	Частный	суммарный по (+)	суммарный по (-)
40-20	31,26	31,26	100
20-10	22,61	53,87	68,74
10-5	17,0	70,87	46,13
5-2,5	13,22	84,09	29,13
2,5-1,25	5,43	89,52	15,91
1,25-0,63	4,79	94,31	10,48
0,63-0,315	2,69	97	5,69
0,315-0,1	1,85	98,85	3
-0,1-0	1,15	100	1,15
Руда	100		

Таблица 4 - Результаты мокрого ситового анализа руды, дробленной до 40 мм

Классы крупности, мм	Выход, %			Содержание BaSO ₄ , %
	частный	суммарный по (+)	суммарный по (-)	
40 - 20	30,32	30,32	100	67,07
20-10	21,3	51,62	69,68	56,05
10-5	15,16	66,78	48,38	51,6
5-2,5	10,44	77,22	33,22	45,38
2,5-1,25	4,05	81,27	22,78	44,45
1,25-0,62	3,37	84,64	18,73	40,82
0,62-0,315	2,83	87,47	15,36	45,14
0,315-0,215	3,19	90,66	12,53	47,47
0,215-0,1	9,43	100	9,34	25,75
Руда	100			53,2

Анализ результатов гранулометрического состава руды, дробленной

до 40 мм показывает, что наибольший выход имеют классы крупностью 40-20 мм -30,32 %, 20-10 мм -21,30 % и 10-5 мм - 15,16 %, общий выход которых составляет 66,78 %.

Выход класса крупности -0,10+0,0 мм составляет 9,34 %, что доказывает наличие в руде значительного количества глинистых частиц. Это подтверждается тем, что содержание сульфата бария в данном классе составляет всего 25,75 % по отношению к содержанию в других классах крупности.

Наличие такого количества тонких шламов в баритовой руде требует осуществлять операцию классификации для удаления глинистых фракций перед обогащением, так как наличие глинистых частиц в баритовом концентрате ухудшает качество буровых растворов [28].

Среднее содержание сульфата бария в данной пробе составило 53,20 %. При этом необходимо отметить, что наибольшее содержание сульфата бария находится в крупных классах, то есть наблюдается неравномерное распределение сульфата бария по классам крупности.

Как отмечалось ранее, вторая половина пробы подвергалась дроблению до 10 мм. Результаты мокрого ситового анализа руды, дробленной до 10 мм приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Ситовой анализ руды дробленной до 10 мм

Классы крупности, мм	Выход, %			Содержание BaSO ₄ , %
	частный	суммарный по (+)	суммарный по (-)	
10-5	40,29	40,29	100	58,69
5-2,5	20,22	60,51	59,71	54,85
2,5-1,25	5,59	66,1	39,49	54,09
1,25-0,62	5,33	71,43	33,9	54,09
0,62-0,315	3,79	75,22	28,57	53,29
0,315-0,215	2,96	78,18	24,78	52,08
0,215-0,1	21,82	100	21,82	29,83
Итого	100			50,75

Анализ результатов гранулометрического состава руды, дробленной до 10 мм показывает, что наибольший выход имеют классы крупностью - 10+5 мм - 40,29 % и -5+2,5 мм - 20,22 %, общий выход которых составляет 60,51 %.

Необходимо отметить, что выход класса крупностью -0,10+0,0 мм увеличился до 21,82 %, при этом содержание в нем сульфата бария повысилось до 29,83 %. Это доказывает, что при уменьшении верхнего предела крупности дробления тонкому измельчению подвергаются минералы барита, которые имеют меньшую твердость, чем вмещающие

породы.

Среднее содержание сульфата бария в данной пробе составило 50,75 %. При этом необходимо отметить, что также наблюдается неравномерное распределение содержания сульфата бария по классам крупности и наибольшее содержание - 58,69 % составляет в классе -10+5 мм, а наименьшее 52,08 % в классе -0,315+0,10 мм.

Выводы: На основании анализа гранулометрического состава руды дробленной до 40 и 10 мм можно сделать следующие основные выводы:

- содержание сульфата бария в пробе руды, поступившей на исследования, составило 51-53 %;
- в пробе руды, поступившей на исследование, присутствует значительное количество глинистых фракций. В связи с этим для получения из руды качественных баритовых концентратов, используемых в качестве утяжелителей для буровых растворов, перед обогащением необходимо осуществлять операцию классификации, с целью удаления из руды глинистых фракций;
- при уменьшении верхнего предела крупности дробления резко возрастает количество тонких классов, однако распределение барита по классам крупности более равномерное;
- распределение сульфата бария по классам крупности неравномерное, при этом наибольшее содержание наблюдается в крупных классах, а наименьшее - в мелких. Данный характер распределения сульфата бария по классам крупности также подтверждает целесообразность повышения верхнего предела крупности дробления до 30-40 мм.

3.2 Фракционный анализ и гравитационная обогатимость баритовой руды

3.2.1 Анализ распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности при дроблении руды до 40 мм

Характер распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности приведен в таблице 6 [29,30,31].

Изучение характера распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности позволяет определить принципиальную возможность получения тяжелых (концентратных) фракций с требуемым содержанием металла с максимально возможными технологическими показателями [32]. Анализ результатов, представленных в таблице 6 показывает следующее:

Таблица 6 - Распределение сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности

Плотность разделения, кг/м ³	Выход, % от		Содержа- ние BaSO ₄ , %	Распределение, % от		Класс крупности, мм
	Класса	Руды		Класса	Руды	
1	2	3	4	5	6	7
-2800	20,5	6,22	6,26	1,91	0,73	40-20
2800-3000	4,65	1,41	37,1	2,56	0,98	
3000-4000	36,35	11,02	79,88	43,3	16,55	
4000	38,5	11,67	91	52,23	19,96	
Итого	100	30,32	67,07	100	38,22	
-2800	28,43	6,06	5,78	2,94	0,66	20-10
2800-3000	8,26	1,76	28,34	4,19	0,94	
3000-4000	33,2	7,07	74,16	43,94	9,86	
4000	30,09	6,41	91,2	48,93	10,98	
Итого	100	21,30	56,05	100	22,44	
-2800	29,88	4,53	4,3	2,52	0,37	10-5
2800-3000	13,01	1,97	21,64	5,44	0,8	
3000-4000	29,88	4,53	72,94	42,24	6,21	
4000	27,23	4,13	94,36	49,8	7,32	
Итого	100	15,16	51,6	100	14,7	
-2800	34,05	3,55	4,08	3,03	0,27	5-2,5
2800-3000	14,86	1,55	18,49	6,07	0,54	
3000-4000	26,09	2,72	68,5	39,33	3,5	
4000	25	2,62	93,28	51,57	4,59	
Итого	100	10,44	45,38	100	8,9	
-2800	41,6	1,69	7,16	6,8	0,23	2,5-1,25
2800-3000	5,88	0,24	20,58	2,66	0,09	
3000-4000	26,26	1,06	60,3	35,5	1,2	
4000	26,26	1,06	93,46	55,04	1,86	
Итого	100	4,05	44,45	100	3,38	
-2800	45,09	1,52	7,58	8,49	0,22	1,25+0,63
2800-3000	7,1	0,24	20,44	3,47	0,09	
3000-4000	23,8	0,8	55,82	32,43	0,84	
4000	24,01	0,81	94,44	55,61	1,44	
Итого	100	3,37	40,82	100	2,59	
-2800	39,4	1,12	7,84	7,08	0,17	0,63-0,315
2800-3000	7,88	0,22	23,04	4,17	0,1	
3000-4000	21,47	0,61	53,46	25,42	0,61	
4000	31,25	0,88	92,38	63,33	1,52	
Итого	100	2,83	45,14	100	2,4	

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
-2800	34,15	0,88	4,9	2,81	0,08	0,315-0,10
2800-3000	6,34	0,16	33,72	3,51	0,1	
3000-4000	24,88	0,89	36,86	21,75	0,62	
4000	34,63	1,26	86,44	71,93	2,05	
Итого	100	3,19	47,47	100	2,85	
-2800	28,2	25,57	5,66	2,86	2,73	Суммарный класс -40+0,1 мм
2800-3000	8,33	7,55	25,65	3,81	3,64	
3000-4000	31,66	28,7	73,01	41,25	39,39	
4000	31,81	28,84	91,76	52,08	49,72	
Итого	100	90,66	56,03	100	95,48	
Класс	-	9,34	25,75	-	4,52	0,10+0,0
Руда	-	100	53,2	-	100	40+0,0

- выделение тяжелых (концентратных) фракций с содержанием сульфата бария более 90% возможно из всех классов крупности (от 40 мм до 0,10 мм), что доказывает возможность обогащения данной руды гравитационными способами;

- дробление руды до крупности 40мм является достаточной и оптимальной, так как уже на данной крупности происходит выделение концентратных фракций с требуемой плотностью и содержанием;

- показатели, получаемые при выделении фракции с плотностью более 4000 кг/м³ для всех классов крупности, приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Фракция с плотностью более 4000 кг/м³ при дроблении руды до 40 мм

Классы крупности, мм	Выход, % от		Содержание BaSO ₄ , %	Распределение, % от		Фактическая плотность фракции, кг/м ³
	класса	руды		класса	руды	
1	2	3	4	5	6	7
40-20	38,5	11,67	91	52,23	19,96	4260
20-10	30,09	6,41	91,2	48,93	10,98	4300
10-5	27,23	4,13	94,36	49,8	7,32	4350
5-2,5	25	2,62	93,28	51,57	4,59	4340
2,5-1,25	26,26	1,06	93,46	55,04	1,86	4348
1,25-0,63	24,01	0,81	94,44	55,61	1,44	4370
0,63-0,315	31,25	0,88	92,38	63,33	1,52	4300
0,315-0,10	34,63	1,26	86,44	71,93	2,05	4180
Итого	31,81	28,84	91,76	52,08	49,72	

Анализ результатов, представленных в таблице 7 показывает, что при обогащении суммарного класса крупностью -40+0,1 мм максимально

теоретически возможный выход фракции с плотностью более 4000 кг/м³, являющейся концентратной, из руды представленной данной пробой, составит 28,84 % со средним содержанием сульфата бария 91,76 % и извлечением от руды 49,72 %. При этом необходимо отметить, что частное извлечение сульфата бария из каждого класса крупности в среднем превышает 50 % и находится в пределах от 48,93 % до 71,93 %. Согласно требованиям, предъявляемым стандартом API и ГОСТ на баритовые концентраты, все концентратные фракции анализировались на фактическую плотность (таблица 7) и на содержание водорастворимых солей, в том числе и водорастворимых солей кальция. Результаты анализов приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Результаты анализов

Концентратные фракции классов крупности, мм	Количество водорастворимых солей, %	В том числе водорастворимых солей кальция, %
40-20	0,34	0,018
20-10	0,31	0,019
10-5	0,38	0,021
5-2,5	0,34	0,016
2,5-1,25	0,28	0,014
1,25-0,63	0,22	0,021
0,63-0,315	0,25	0,012
0,315-0,10	0,26	0,018

Анализ результатов, представленных в таблицах 6 и 7 показывают, что получаемые концентратные фракции по плотности и количеству водорастворимых солей соответствуют предъявляемым требованиям;

- необходимо отметить, что из классов крупностью 40-20 мм и 20-10 мм возможно выделение тяжелых концентратных фракций с содержанием сульфата бария более 90 % и средней плотностью более 4,2 г/см³. Это в свою очередь подтверждает, что оптимальный верхний предел крупности дробления составляет порядка 40 мм. При этом происходит образование минимально возможного количества тонких классов (менее 10 мкм);

- возможно выделение легких фракций плотностью менее 3000 кг/м³ из всех исследованных классов крупности (таблица 6). Так, например, при обогащении суммарного класса —40+0,1 мм выход фракции с плотностью менее 3000 кг/м³ составит 33,12 % со средним содержанием сульфата бария 10,22 % при потерях в извлечении 6,37 %, то есть в реальных условиях обогащения возможно выделение хвостов с

выходом порядка 25-27 %, при этом потери сульфата бария не превысят 5-6 %.

3.2.2 Анализ распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности при дроблении руды до 10 мм

Характер распределения сульфата бария по фракциям плотности и классам крупности приведен в таблице 9.

Таблица 9 - Характер распределения сульфата бария при дроблении до 10 мм

Плотность разделения, кг/м ³	Выход, % от		Содержа- ние BaSO ₄ , %	Извлечение, % от		Класс крупности, мм
	Класса	Руды		Класса	Руды	
1	2	3	4	5	6	7
-2800	24,39	9,83	4,1	1,7	0,79	-5
2800-3000	10,25	4,13	22,18	3,87	1,8	
3000-4000	28,42	11,45	72,64	35,17	16,38	
4000	36,94	14,88	94,16	59,26	27,61	
Итого	100	40,29	58,69	100	46,58	
-2800	26,92	5,44	5,12	2,51	0,55	-7,5
2800-3000	11,89	2,4	19,6	4,25	0,93	
3000-4000	25,49	5,15	69,45	32,27	7,05	
4000	35,7	7,23	93,58	60,97	13,33	
Итого	100	20,22	54,85	100	21,86	
1	2	3	4	5	6	7
-2800	31,65	1,77	7,25	4,24	0,25	2,5-1,25
2800-3000	4,68	0,26	21,2	1,83	0,11	
3000-4000	26,84	1,5	61,15	30,34	1,81	
4000	36,83	2,06	93,36	63,59	3,79	
Итого	100	5,59	54,09	100	5,96	
-2800	31,72	1,69	8,8	5,08	0,29	1,25-0,63
2800-3000	5,11	0,27	21,2	1,97	0,11	
3000-4000	22,89	1,22	56,8	23,68	1,37	
4000	40,28	2,15	94,3	69,27	3,99	
Итого	100	5,33	54,9	100	5,76	

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
-2800	30,22	1,15	7,44	4,22	0,17	0,63-0,315
2800-3000	6,16	0,23	24,1	2,79	0,11	
3000-4000	23,69	0,9	53,4	23,74	0,95	
4000	39,93	1,51	92,6	69,25	2,75	
Итого	100	3,79	53,29	100	3,98	
-2800	26,91	0,8	4,8	2,48	0,08	0,315+0,1
2800-3000	5,14	0,15	34	3,36	0,1	
3000-4000	23,33	0,69	37,9	16,98	0,51	
4000	44,62	1,32	90,2	77,18	2,34	
Итого	100	2,96	52,08	100	3,03	
-2800	26,45	20,68	5,23	2,44	2,13	Суммарный класс
2800-3000	9,52	7,44	21,55	3,63	3,16	
3000-4000	26,75	20,91	68,13	32,2	28,07	
4000	37,28	29,15	93,71	61,73	53,81	
Итого	100	78,18	56,6	100	87,17	
Класс - 0,1+0,0мм	-	21,82	29,83	-	12,83	0,1+0,0
Руда	-	100	50,75	-	100	10-0,0

Анализ результатов, представленных в таблице 9, показывает следующее:

- выделение тяжелых (концентратных) фракций с содержанием сульфата бария более 90 % происходит из всех классов крупности. При этом необходимо отметить, что наибольший выход данной фракции наблюдается из классов крупности 10-5 мм — 36,94 % от класса или 14,88 % от руды и 5- 2,5 мм - 35,70 % от класса или 7,23 % от руды;

- дробление исходной руды до крупности 10 мм позволяет повысить качество концентратных фракций, так содержание сульфата бария во фракции с плотностью более 4000 кг/м³ по всем классам крупности находится в пределах от 90,20 % до 94,30 %, что несколько выше, чем при дроблении руды до 40 м. Это объясняется тем, что на данной крупности происходит более полное раскрытие минералов барита.

Показатели, получаемые при выделении фракции с плотностью более 4000 кг/м³ для всех классов крупности приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Фракция с плотностью более 4000 кг/м³ при дроблении руды до 10 мм

Классы крупности, мм	Выход, % от		Содержание BaSO ₄ , %	Распределение, %		Фактическая плотность реакции, кг/м ³
	класса	руды		класса	руды	
10-5,0	36,94	14,88	94,16	59,26	27,61	4370
5,0-2,5	35,70	7,23	93,58	60,97	13,33	4348
2,5-1,25	36,83	2,06	93,36	63,59	3,79	4348
1,25-0,63	40,28	2,15	94,30	69,27	3,99	4300
0,63-0,315	39,93	1,51	92,60	69,25	2,75	4380
0,315-0,10	44,62	1,32	90,20	77,18	2,34	4286
Итого	37,28	29,15	93,71	61,73	53,81	

Анализ результатов, представленных в таблице 10, показывает, что при обогащении суммарного класса -10+0,1 мм максимально теоретически возможный выход фракции с плотностью более 4000 кг/м³, являющейся концентратной, из руды представленной данной пробой, составит 29,15 % со средним содержанием сульфата бария 93,71 % и извлечением от руды 53,81 %. При этом необходимо отметить, что частное извлечение сульфата бария из каждого класса крупности находится в пределах от 59,26 % до 77,18 %, что на 7-10 % выше, чем при дроблении руды до 40 мм. Полученные тяжелые фракции из всех классов крупности имеют фактическую плотность более 4,2 г/см³, что соответствует требованиям, предъявляемым стандартом Американского Нефтяного института (API).

Среднее содержание сульфата бария в концентратной фракции суммарного класса (-10+0,1 мм) составило 93,71 %, что на 2 % выше, чем в суммарной фракции класса -40+0,1 мм. Это доказывает, что с уменьшением верхнего предела крупности происходит более полное раскрытие минеральных зерен барита.

Необходимо отметить, что при дроблении руды до 10мм наблюдается увеличение выхода концентратных фракций (в среднем на 6 % от класса) и извлечения (в среднем на 9 % от класса). Однако, общий прирост выхода концентратной фракции от руды составил всего на 0,31 %, а извлечения на 4,09 %. Невысокий прирост показателей объясняется резким увеличением выхода тонких классов (-0,1+0 мм), с 9,34 % при дроблении до 40 мм, до 21,82 % при дроблении до 10 мм.

Необходимо отметить возможность выделения легкой фракции плотностью менее 3000 кг/м³ (таблица 9). Так при обогащении суммарного класса -10+0,1 мм выход фракции с плотностью менее 3000 кг/м³ составит 28,12 % со средним содержанием сульфата бария 9,55 %

при потерях в извлечении 5,29 %. Наблюдается уменьшение выхода легкой фракции при дроблении до 10 мм. Это объясняется тем, что вмещающие породы при данной крупности дробления также подвергаются переизмельчению и переходят в тонкие классы (-0,1+0 мм).

Количество промежуточных фракций плотностью 3000-4000 кг/м³ составило 20,91 % от руды с содержанием сульфата бария 68,13 % и извлечения в нее 28,07 %.

Из представленных результатов видно, что при уменьшении крупности дробления в 4 раза выход промежуточных фракций уменьшился на 7,79 %, а содержание в них снизилось на 4,88 %. Это свидетельствует о том, что в данных фракциях наблюдается тесное взаимопрораствание зерен барита с вмещающими породами и для их полного вскрытия требуется тонкое измельчение.

3.2.3 Определение плотности разделения и индекса гравитационной обогатимости

Для определения необходимой плотности разделения и расчета индекса гравитационной обогатимости с целью определения типа используемого аппарата для гравитационного обогащения данной руды был выполнен расчет фракционного состава для суммарных классов крупности -40+0,1 мм и -10+0,1 мм и построены кривые обогатимости типа «Анри-Рейнгардта» [29,30,33]. Результаты расчета приведены в таблицах 11, 12 и на рисунках 4, 5.

На основании анализа представленных результатов определена плотность разделения, необходимая для получения концентратных фракций с содержанием сульфата бария более 90% с плотностью более 4200 кг/м³, которая составила:

- для суммарного класса -40+0,1 мм – 4000 кг/м³;
- для суммарного класса -10+0,1 мм – 3850 кг/м³.

Более низкая плотность разделения для класса -10+0,1 мм объясняется тем, что на крупности 10 мм зерна минералов барита лучше вскрыты.

Полученные значения необходимой плотности разделения для руды данной крупности могут быть достигнуты только в отсадочных машинах.

Для каждого суммарного класса крупности были определены индексы гравитационной обогатимости, которые составили:

- при плотности разделения 4000 кг/м³ для класса -40+0,1 мм - 0,031, а для класса -10+0,1 мм - 0,043;
- при плотности разделения 4100 кг/м³ для класса -40+0,1 мм - 0,032, а для класса -10+0,1 мм - 0,029.

Полученные значения индексов гравитационной обогатимости

составляют менее 0,1 по шкале оценки обогатимости, что позволяет отнести данный тип баритовой руды к категории легкообогатимых.

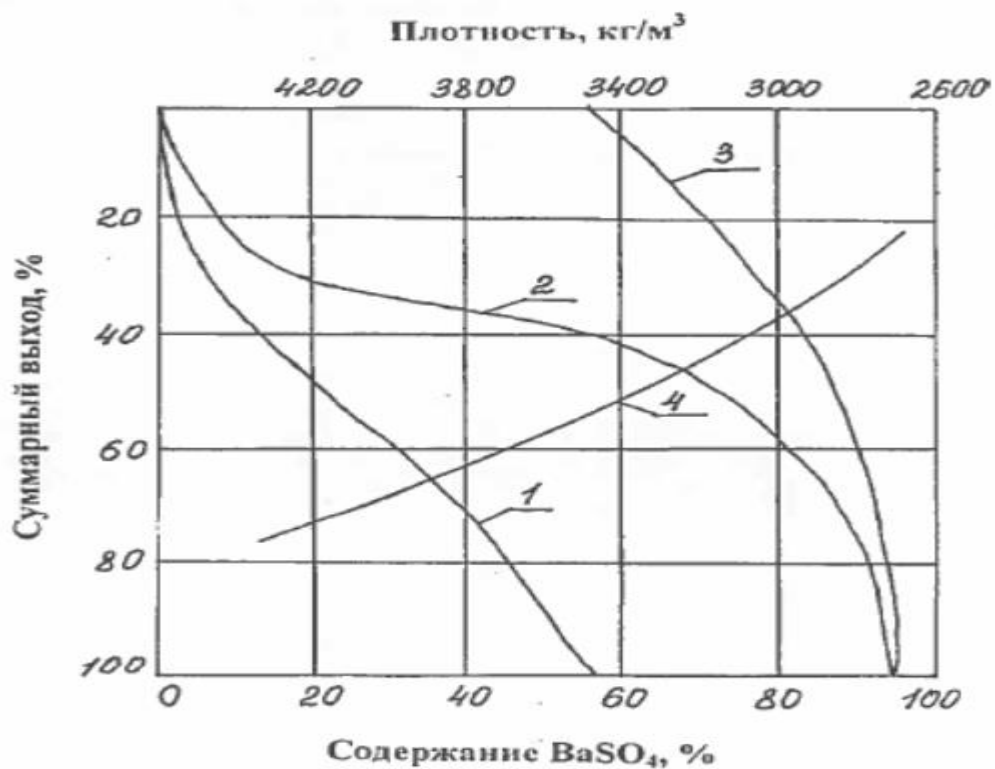


Рисунок 4 - Кривые обогатимости класса -40+0,10 мм.
 Условные обозначения: 1-всплывшие фракции; 2-элементарные фракции;
 3- потонувшие фракции; 4- кривая плотности фракций.

Таблица 11 - Фракционный состав суммарного класса -40+0,1 мм

Плотность, кг/м ³	Выход, % от		Содержание BaSO ₄ , %	Произве- дение	Всплывшие фракции			Потонувшие фракции		
	Класса	Руды			Выход, %	Содержа- ние BaSO ₄ , %	Произве- дение	Выход, %	Содержание BaSO ₄ , %	Произве- дение
-2800	28,20	25,57	5,66	159,612	28,20	5,66	159,612	100,0	56,03	5603,652
2800-3000	8,33	7,55	25,65	213,66	36,53	10,22	373,272	71,8	75,82	5443,74
3000-4000	31,66	28,70	73,01	2311,5	68,19	39,37	2684,772	63,47	82,4	5230,08
+4000	31,81	28,84	91,76	2918,88	100,0	56,03	5603,652	31,81	91,76	2918,88
Итого	100,0	90,66	56,03	5603,652						

Таблица 12 - Фракционный состав суммарного класса -10+0,1 мм

Плотность, кг/м ³	Выход, % от		Содержание BaSO ₄ , %	Произве- дение	Всплывшие фракции			Потонувшие фракции		
	Класса	Руды			Выход, %	Содержа- ние BaSO ₄ , %	Произве- дение	Выход, %	Содержание BaSO ₄ , %	Произве- дение
-2800	26,45	20,68	5,23	138,33	26,45	5,23	138,33	100,00	56,60	5659,476
2800-3000	9,52	7,44	21,55	205,156	35,97	9,55	343,486	73,55	75,07	5521,146
3000-4000	26,75	20,91	68,13	1822,48	62,72	34,53	2165,966	64,03	83,02	5315,99
+4000	37,28	29,15	93,71	3493,51	100,0	56,60	5659,476	37,28	93,71	3493,51
Итого	100,0	78,18	56,60	5659,476						

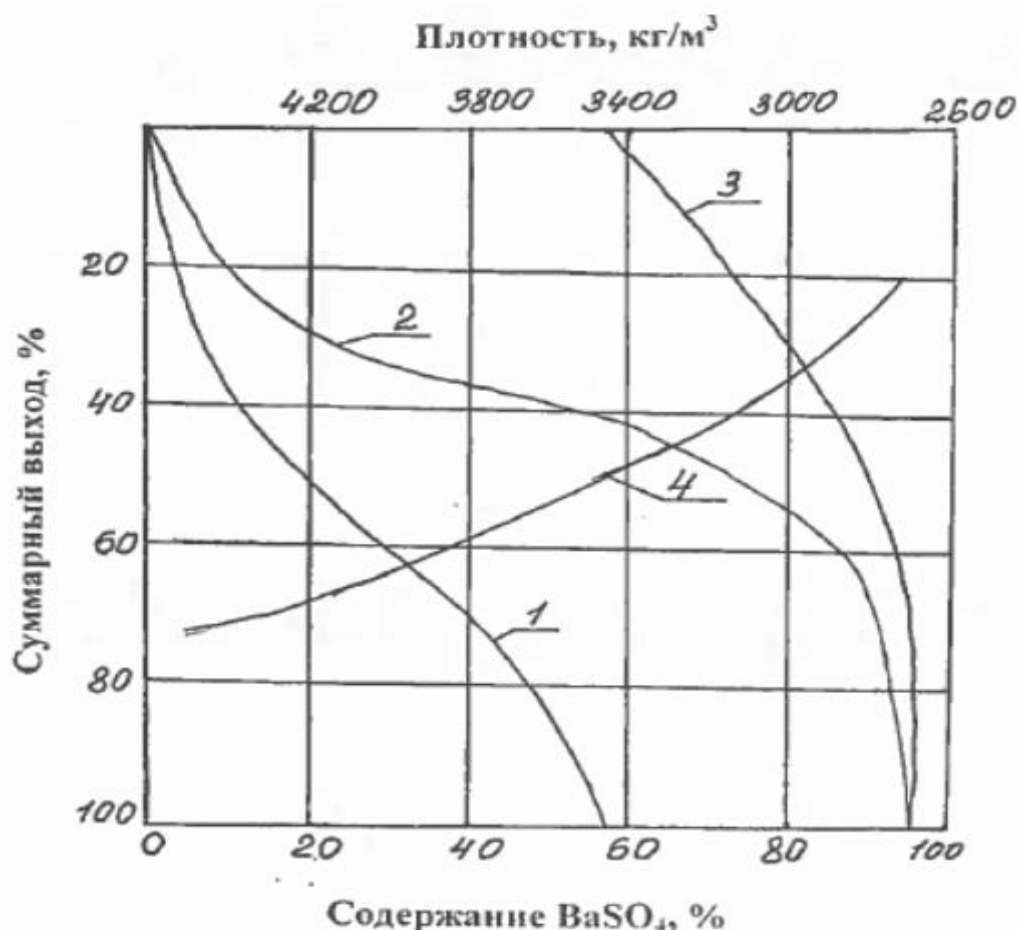


Рисунок 5 - Кривые обогатимости класса -10+0,10 мм.
Условные обозначения: 1-всплывшие фракции; 2-элементарные фракции;
3-потонувшие фракции; 4- кривая плотности фракций.

Выводы: На основании результатов исследований по определению гравитационной обогатимости баритовой руды можно сделать следующие основные выводы:

- баритовую руду, поступившую на исследование, возможно обогащать с использованием гравитационных методов обогащения;
- баритовая руда, поступившая на исследование гравитационной обогатимости, содержала 51-53 % сульфата бария, при этом наблюдалось присутствие значительного количества глинистых фракций;
- наличие в руде глинистых фракций требует тщательной их отмывки перед процессом обогащения, а также отмывки получаемых баритовых концентратов. Это связано с тем, что при попадании глинистых частиц в баритовые концентраты, которые используются в качестве утяжелителей буровых растворов, в конечном счете ухудшает их реологические свойства и усложняет процесс бурения скважин;
- определено, что при крупности дробления исходной руды до 40мм возможно получение концентратных фракций, соответствующих необходимым требованиям;

- определено, что уменьшение верхнего предела крупности дробления с 40 до 10 мм позволяет увеличить количество тонких отвалных классов, мельче 0,1 мм (с 9,43 % до 21,82 %). При этом необходимо отметить, что дальнейшее обогащение классов данной крупности гравитационными методами требует использования специального шламового оборудования (концентрационных столов, сепараторов «Мозли» и др.), которые характеризуются малой удельной производительностью и требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат;

- доказано, что при обогащении данной руды (суммарных классов крупности 40+0,1 мм и 10+0,1 мм) гравитационными методами возможно получение концентратных фракций. При этом теоретически возможный выход концентрата из класса -40+0,1 мм составит 28,84 %, а из класса -10+0,1 мм 29,15 % с содержанием сульфата бария 91,76 % и 93,71 % соответственно;

- выяснено, что уменьшение верхнего предела крупности дробления с 40 до 10 мм позволяет увеличить выход концентратных фракций (прирост 0,31 %). Это объясняется более лучшим раскрытием минеральных зерен;

- полученные концентратные фракции из всех классов крупности имеют фактическую плотность от 4260 кг/м³ до 4350 кг/м³, а содержание водорастворимых солей и в том числе водорастворимых солей кальция ниже требуемых стандартом API;

- доказана возможность выделения легких отвалных фракций с выходом 33,12 % (при крупности 40-0,1 мм) и 28,12 % (при крупности 10-0,1 мм), с небольшими потерями в извлечении от 5 до 6 %. При этом видно, что уменьшение верхнего предела крупности приводит к снижению выхода легких фракций;

- определено наличие промежуточных фракций плотностью 3000-4000 кг/м³ со средним содержанием в них сульфата бария 73,01 % при дроблении до 40 мм и 68,13 % при дроблении до 10 мм и соответственно выходом 28,70 % и 20,91 %. Видно, что уменьшение верхнего предела крупности в 4 раза приводит к уменьшению количества промежуточных фракций на 7,79 % и снижению в них содержания сульфата бария на 4,88 %. Анализ распределения сульфата бария показал, что минимально необходимая крупность измельчения данной фракции (3000- 4000 кг/м³) составляет 1-2 мм;

- определенная плотность разделения, необходимая для получения качественных концентратов, составляет 3850-4000 кг/м³. Данную плотность разделения для руды исследованной крупности (40-0,1 мм и 10-0,1 мм) возможно осуществить только в отсадочных машинах;

- рассчитанные значения величин индексов гравитационной обогатимости меньше 0,1, что характеризует исследованную баритовую

руды, как легкообогатимую.

3.3 Исследование процесса отсадки дробленой руды

Фракционный анализ моноваритовой руды месторождения Улькенсай показал принципиальную возможность получения концентратов с содержанием барита не менее 90 %. Вследствие чего были выполнены исследования по обогащению баритовой руды, дробленной до 10 мм методом отсадки с целью определения оптимальных технологических показателей [34].

Предварительно в лабораторных условиях были проведены эксперименты для получения максимального выхода концентратных фракции, которые составили: частота пульсаций 68 в минуту, амплитуда -75 мм, расход подрешетной воды - 20 м³/м² решета в час, давление сжатого воздуха -0,4 атм (0,04 МПа).

Согласно проведенному фракционному анализу плотность разделения для выделения концентратных фракций практически одинакова для всех классов крупности, вследствие чего отсадке подвергался весь рассматриваемый класс крупности.

Отсадка класса -10+2,5 мм осуществлялась в беспоршневой воздушнозолотниковой отсадочной машине. Оптимальные условия отсадки: частота пульсаций 68 в минуту, амплитуда -75 мм, расход подрешетной воды -20 м³/м² решета в час, давление сжатого воздуха - 0,4 атм (0,04 МПа).

Результаты отсадки класса 10-2,5 мм приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Результаты отсадки класса -10+2,5 мм

Продукт отсадки	Выход (%) от		Содержание BaSO ₄ , %	Извлечение (%) от		Плотность фракции, кг/м ³
	Класса	Руды		Класса	руды	
Концентрат	33,7	28,3	93,0	59,1	51,61	4,37
Промпродукт	37,1	31,07	62,43	35,6	31,07	3,86
Хвосты	29,2	24,5	9,5	5,2	4,56	
Класс -10+0,1 мм	100,0	83,87	56,6	100,0	87,24	-

Из полученных результатов следует, что они соответствуют фракционному составу и свидетельствуют о целесообразности выделения отвальных хвостов из данной пробы. Получен концентрат с содержанием барита 93,0 %, при выходе концентрата 28,3 % и извлечении барита 51,61 %.

Полученный промпродукт с содержанием барита 62,43 %, при выходе

28,8 % и извлечении барита 51,61 % после измельчения был также направлен на повторное обогащение. Фракционный состав промпродукта представлен в таблице 14.

Таблица 14 - Фракционный состав измельченного промпродукта крупнотемновой отсадки фракции 10-2,5 мм

Плотность фракции, кг/м ³	Выход (%) от		Средняя плотность, г/см ³
	Класса	руды	
-4000	59,1	18,39	3,22
4000	40,9	12,68	4,21
класс -2+0,1 мм	100,0	31,07	3,62

Результаты отсадки классов -2+0,1 мм, выделенного из руды, дробленной до 10 мм, приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Результаты отсадки класса -2+0,1 мм

Продукт отсадки	Выход (%) от		Содержание BaSO ₄ , %	Извлечение (%) от		Плотность фракции, кг/м ³
	Класса	Руды		Класса	Руды	
Концентрат I	19,8	5,03	90,1	28,6	8,89	
Хвосты	80,2	20,35	43,44	71,4	22,18	
Класс -2+0,1 мм	100,0	25,38	62,43	100,0	31,07	-

Анализ результатов, представленных в таблице 15 показывает, что возможно получение концентрата с содержанием 90,1 % при выходе 5,03 % и извлечением барита 8,89 %.

3.4 Выбор рекомендуемой технологической схемы обогащения руд месторождения Улькенсай с использованием процесса отсадки

На основании результатов выполненных исследований по изучению гравитационной обогатимости разработана технологическая схема обогащения моноваритовой руды месторождения Улькенсай, рисунок 6.

Технологическая схема обогащения включает дробление исходной руды до крупности 10 мм с последующей классификацией. Пески классификации подвергаются отсадке с получением трех продуктов:

концентрата, промпродукта и хвостов. Промпродукт отсадки класса - 10+0,1 мм подвергается измельчению до крупности 2 мм с последующей отсадкой с получением концентрата и хвостов.

Химический состав гравитационного баритового концентрата приведен в таблице 16. Полный спектральный анализ концентрата приведен в таблице 17.

Таблица 16 - Химический состав баритового концентрата

Плотность, кг/м ³	Содержание, %								
	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Pb	Zn	Cu	Sr	BPC	BPC Ca
4280	91,98	5,84	0,33	0,0006	0,002	0,00	0,2	0,25	0,021

Таблица 17 - Спектральный анализ концентрата*

Sr	10 ⁻²	Ag	10 ⁻⁵
Co	10 ⁻⁴	Zr	10 ⁻²
Zn	10 ⁻³	Li	10 ⁻³
Y	10 ⁻³	Nb	10 ⁻⁴
Cu	10 ⁻³	Be	10 ⁻⁴
Sn	10 ⁻⁴	Bi	10 ⁻⁴
Mo	10 ⁻⁴	Ge	10 ⁻⁴
Ni	10 ⁻¹	Ga	10 ⁻⁴
Mn	10 ⁻²	W	10 ⁻⁴
V	10 ⁻³	As	10 ⁻³
Ti	10 ⁻¹	P	10 ⁻³
Pb	10 ⁻³	Cd	10 ⁻⁴
Cr	10 ⁻³	Tl	10 ⁻⁴

* - элементы: Sc, Yb, La, Yn, B, Hg, Sb, Au, Ta, U, Gd, Hf не обнаружены.

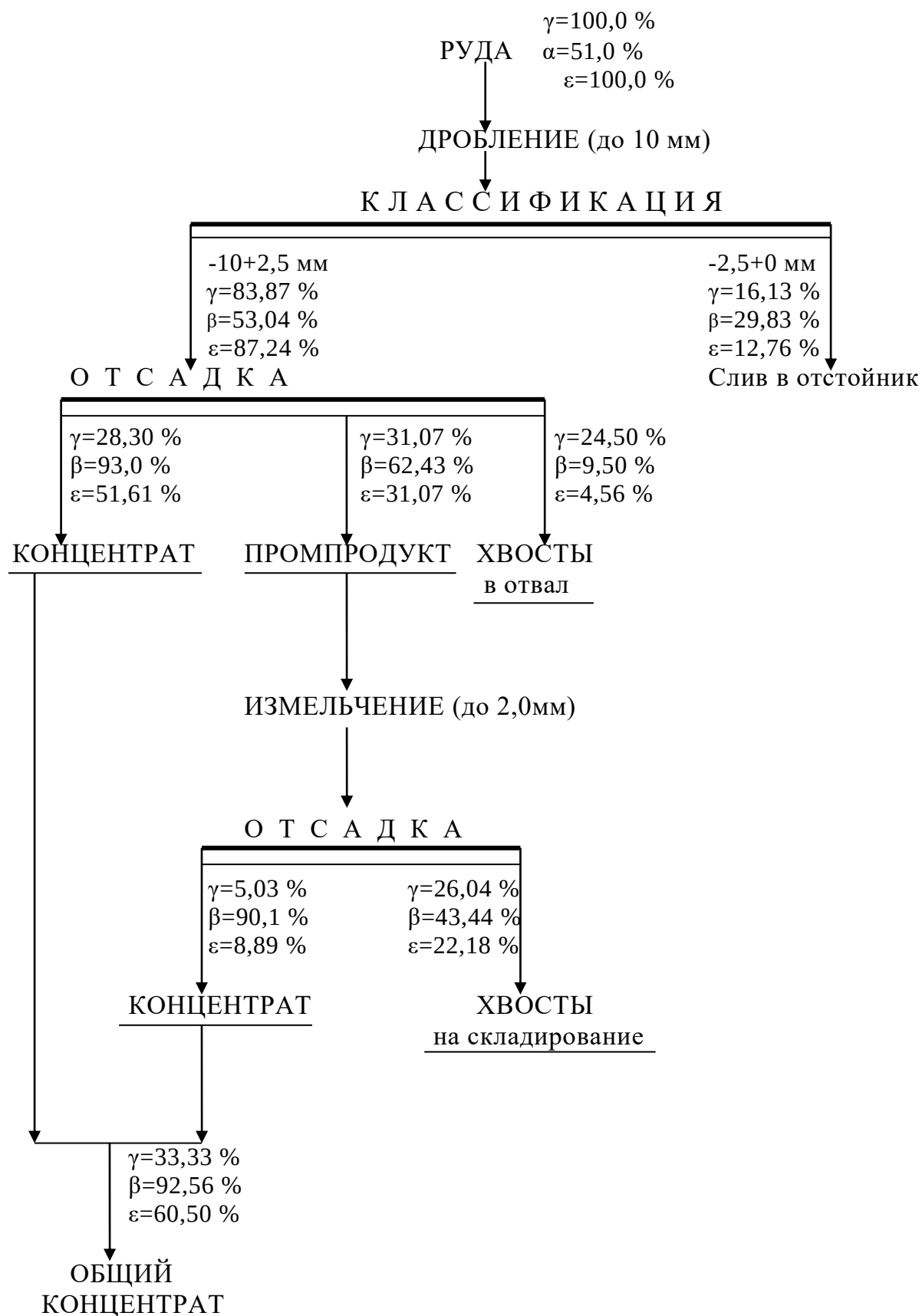


Рисунок 6 - Технологическая схема обогащения

Обобщенные результаты исследований, полученные при отсадке класса 10 – 0,1 мм баритовой руды месторождения Улькенсай по схеме, представленной на рисунке 6, приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Технологические показатели, получаемые при отсадке класса 10-0,1 мм

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание BaSO ₄ , %	Извлечение BaSO ₄ , %
Классификация			
Слив классификации (0,1-0 мм)	16,13	29,83	12,76
Пески классификации (10-0,1 мм)	83,87	53,04	87,24
Отсадка класса 10-0,1 мм			
Концентрат	28,30	93,0	51,61
Промпродукт	31,07	62,43	31,07
Хвосты	24,50	9,50	4,56
Отсадка класса 2-0 мм			
Концентрат	5,03	90,1	8,89
Хвосты	26,04	43,44	22,18
Общий концентрат	33,33	92,56	60,5
Руда	100,0	51,0	100,0

3.5 Исследование процесса флотации промпродуктов отсадки дробленной руды месторождения Улькенсай

На стадии переработки промпродуктов отсадки получают хвосты с содержанием более 40 % и направление их в хвостохранилище неприемлемо в связи с комплексностью использования сырья. Однако переработка их гравитационными методами осложнена в связи дороговизной и невысокой производительностью гравитационного оборудования. Вследствие чего был рассмотрен вариант доизмельчения хвостов отсадки с последующей их флотацией.

Как было сказано ранее для месторождения Улькенсай характерно наличие кварцевых примесных минералов, что позволяет использовать в качестве реагентов наиболее распространенные виды. [35,36] Правильный выбор типа собирателя или их комбинации являлся основной задачей исследования. Изучение эффективности собирателей при мономинеральной флотации сводится в первую очередь к сравнению выходов минерала при различных их концентрациях. Эффективность собирателя тем выше, чем ниже его концентрация для достижения максимального выхода концентрата. [37]

Для проведения опытов по флотации пробы после гравитационного обогащения измельчались до крупности 0,1-0 мм. Эксперименты по

флотации проводились в лабораторной флотомашине с объемом камеры 50 см³. Время агитации 1 мин, время флотации 3 мин, pH среды регулировалась едким натром.

В качестве реагентов собирателей применяли таловое масло, алкилсульфат, баритол и их сочетания. Результаты экспериментов отдельными собирателями приведены на рисунке 7.

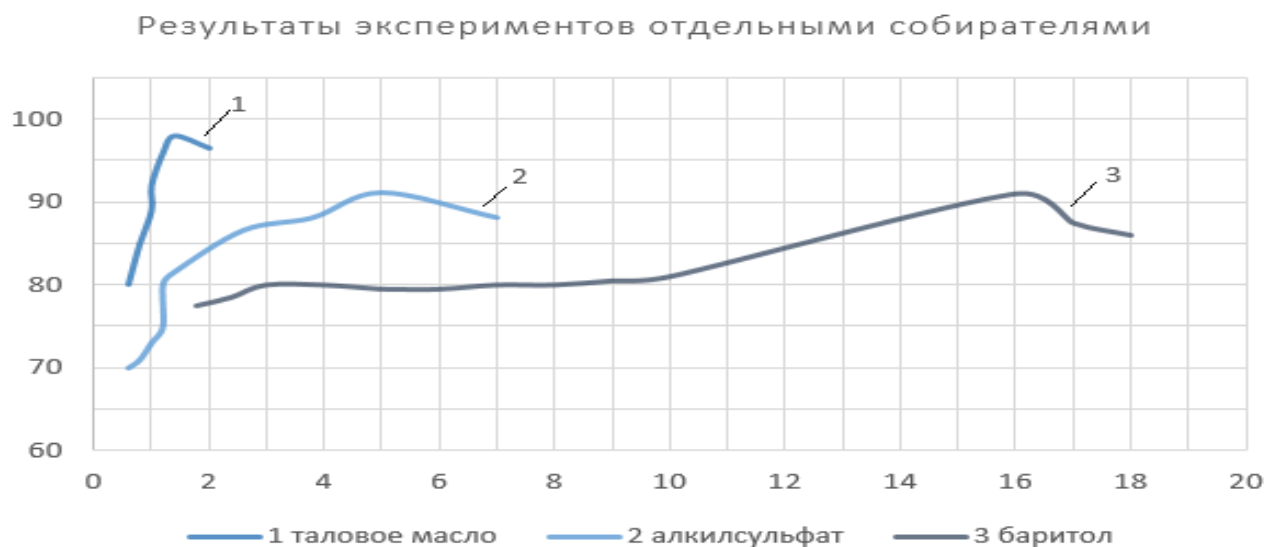


Рисунок 7 - Результаты экспериментов отдельными собирателями.

Для проведения опытов по изучению флотируемости барита сочетаниями реагентов были приняты оптимальные расходы каждого реагента, позволяющие получить более высокое извлечение барита. Соотношения этих реагентов берутся в процентном отношении к оптимальному расходу. [38] Результаты опытов приведены на рисунке 8.

При изучении действия талового масла, алкилсульфата и баритола и их смесей было установлено:

- флотационные свойства жирных кислот и сульфокислот существенно отличаются: первые сильные, а вторые слабые собиратели;
- собирательные свойства внутри каждого класса также существенно отличаются в зависимости от длины углеводородного радикала (на примере алкилсульфата и баритола);
- максимальное извлечение барита получено при использовании в качестве собирателя таловое масло, которое при небольшом расходе имеет высокие показатели
- при смеси реагентов баритол (выход 90 %) вполне может заменить сочетание талового масла и алкилсульфата (выход 94 %), что упрощает реагентный режим.

Соотношения реагентов в процентном отношении к оптимальному расходу

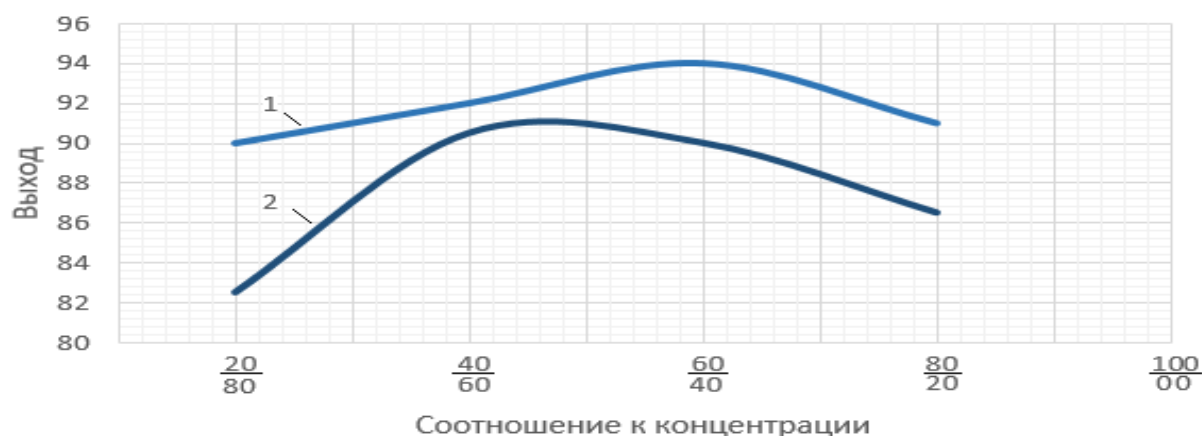


Рисунок 8 - Соотношение реагентов в процентном отношении к оптимальному расходу.

На основании результатов проведенных исследований в качестве основного собирателя был принят баритол. Реагентный режим и технологическая схема флотации приведена на рисунке 9. Технологические показатели приведены в таблице 19.

Таблица 19 - Технологические показатели, получаемые при флотации хвостов отсадки класса 2-0 мм

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание BaSO ₄ , %	Извлечение BaSO ₄ , %
Основная флотация			
Концентрат	11,4	51,0	13,4
Хвосты	23,8	28,2	15,4
I перечистка			
Концентрат	12,1	66,2	18,4
Хвосты	2,7	46,1	2,9
Контрольная флотация			
Концентрат	6,5	34,7	5,2
Хвосты	17,34	9,2	3,7
II перечистка			
Концентрат	10,0	72,0	16,6
Хвосты	3,4	54,6	4,3
III перечистка			
Концентрат	8,7	92,0	18,48
Хвосты	1,3	65,3	1,9
ИТОГО	26,0	43,44	22,18

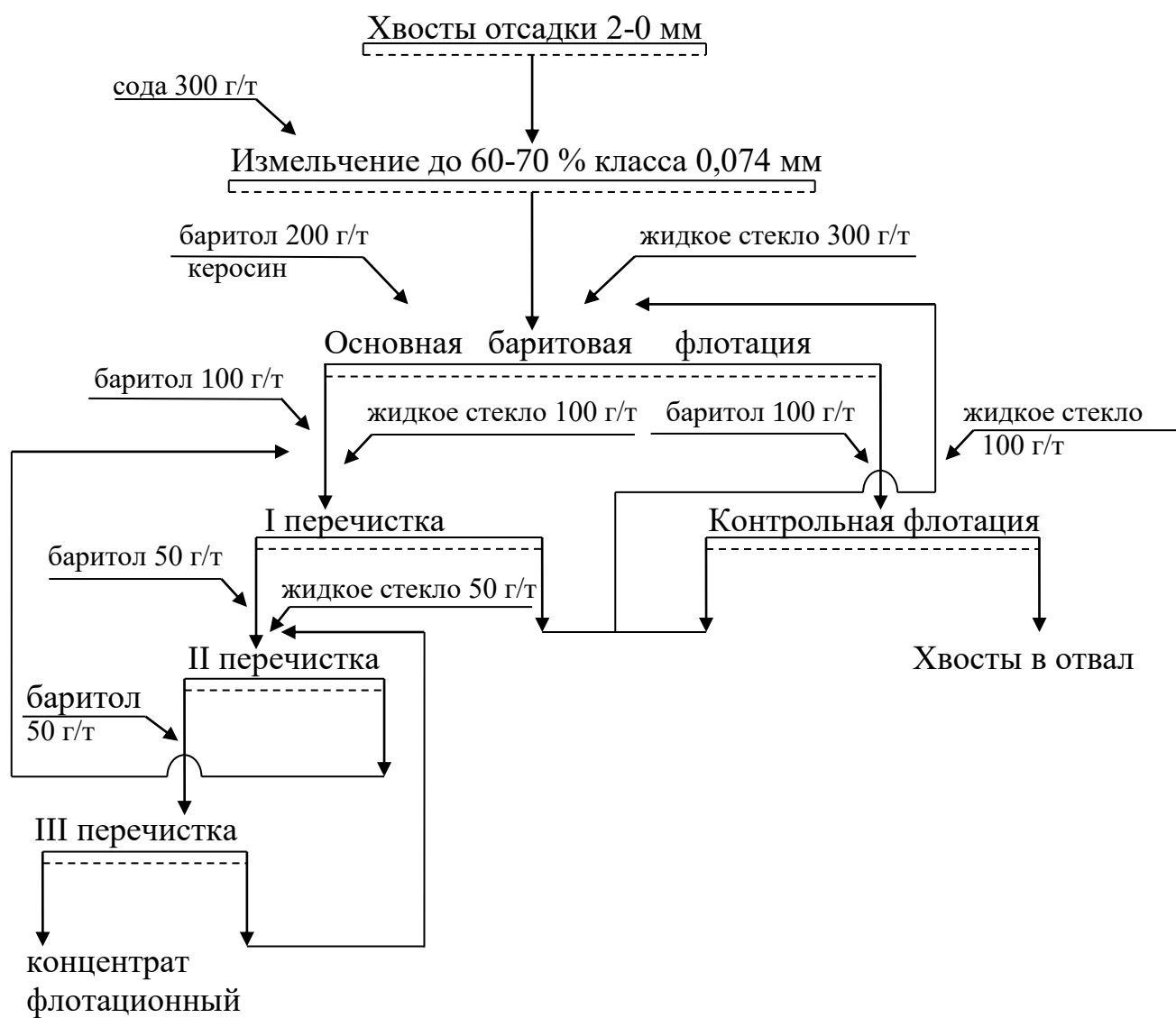


Рисунок 9 - Схема флотации баритовых руд

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная задача, для решения которой были выполнены данные исследования, это определение гравитационной и флотационной обогатимости моноваритовой руды месторождения Улькенсай с целью разработки технологии ее обогащения с использованием процессов отсадки, а также определение технологических показателей.

Полученные результаты лабораторных исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

- доказано, что баритовая руда месторождения Улькенсай обогащается с использованием гравитационных методов обогащения;
- определено, что из баритовой руды с содержанием сульфата бария 51 – 53 % возможно получение баритового концентрата выходом 33,33 % с содержанием сульфата бария 92,56 % и извлечением 60,5 %;
- определено, что наиболее оптимальным реагентом для флотации барита является баритол;
- доказано, что промпродукты полученные после обогащения методом отсадки, возможно направлять на флотацию с получением флотационного концентрата с выходом 8,7 % и содержанием 92,0 % при извлечении в него 18,48 %.
- полученные концентраты имеют плотность более 4200 кг/м³ с содержанием сульфата бария более 90 %, при этом содержание водорастворимых солей ниже допустимых, то есть баритовые концентраты соответствуют требованиям, предъявляемым стандартом Американского Нефтяного института (API) и ГОСТ 4682-84 «Концентрат баритовый»;
- полученный флотационный концентрат омаслен реагентами, поэтому для использования его в качестве утяжелителя буровых растворов нежелательно, однако его возможно использовать в химической промышленности; [39,40]
- определено, что при крупности дробления руды до 10 мм происходит раскрытие минералов барита, достаточное для получения кондиционных гравитационных концентратов, соответствующих необходимым требованиям;
- определено, что необходимая плотность разделения для получения концентратных фракций составляет 3850-4000 кг/м³, которую возможно осуществить только в отсадочных машинах;
- определено, что моноваритовая руда месторождения Улькенсай с точки зрения гравитационной обогатимости относится к категории легкообогатимой.

Оценка полноты решений поставленных задач. Все поставленные в работе задачи решены в полном объеме: исследован

гранулометрический состав дробленых руд; исследован фракционный анализ дробленых руд, определена необходимая плотность разделения для получения концентратов с содержанием барита более 90 %; определена гравитационная обогатимость руд; проведены исследования по выбору оптимального собирателя для флотации барита; поставлены все опыты по отсадке и флотации баритовой руды; на основании полученных результатов разработана оптимальная технологическая схема переработки монобаритовой руды.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию полученных результатов. Результаты данной магистерской диссертации могут быть использованы для исследований по определению гравитационной обогатимости аналогичных типов руд и разработки технологических схем обогащения со схожим минеральным составом с рудами месторождения Улькенсай.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Ожидаемая технико-экономическая эффективность внедрения результатов, проведенных исследований, достаточно высока, так как планируется использовать экономически выгодные, высокопроизводительные гравитационные и флотационные процессы обогащения. К тому же, при использовании гравитационных методов обогащения, достигается довольно высокое извлечение барита в концентрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ильичева Т.М., Попкова Е.Б., Сайлыбаева А.Н., Шегебаева Г.С. Основы экономики. Казахстан в современном мире. Алматы. Достижения молодых, 2011. – 148 с.
- 2 Ахманов Г. Г., Васильев Н. Г. Минеральное сырье. Барит. Москва, 1997. – 54 с.
- 3 Булатов А. И., Проселков Ю. М., Шаманов С. А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин. Москва, Недра, 2003. - 620 с.
- 4 Бабаян Э.В., Мойса Н.Ю. Буровые растворы. Москва – Вологда, 2019. – 65 с.
- 5 Казахстан. Национальная энциклопедия. Алматы, Казахская энциклопедия, 2005. – 47 с.
- 6 Студенцов В.В., Ниязов А.А., Абевова Т.А. Тенденция развития переработки баритсодержащих руд в отечественной и зарубежной практике (Аналитический обзор). - Алматы, 1999. - 120 с.
- 7 Абишев Д.Н., Агашкин О.В., Айсаутов М.А. и др. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения. Теория и технология обогащения природного и техногенного минерального сырья: в 10 т. – Алматы, 2008. - Т.2. - С. 50-55.
- 8 Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Баритовые руды. – Москва, Недра, 2007. - 38 с.
- 9 Ахманов Г.Г., Васильев И.Г., Булаткина Т.А., Егорова И.П. Сырьевая база барита и перспективы ее развития //Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1995. - № 5. - С. 13-18.
- 10 Ахманов Г.Г., Васильев И.Г., Булаткина Т.А., Егорова И.П. Сырьевая база барита и перспективы ее развития //Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1995. - № 5. - С. 13-18.
- 11 Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Технология обогащения полезных ископаемых. - Москва, Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - Т.2. - 510 с.
- 12 Гагниадзе Ц.М., Мампория М.Г., Адамия Т.М. К вопросу переработки флотационного концентрата хвостов барит-полиметаллической руды // Прогрессивные методы обогащ. и технологии глубокой перераб. руд цвет., редких и платин. металлов //Сб. науч. тр., Красноярск. - 2006. - С.87–88.
- 13 Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Том 2. «Технология обогащения полезных ископаемых». Москва, МГТУ, 2010. – 178 с.

- 14 Высотин В.В., Руденко М.Б. Определение оптимальных условий флотации баритсодержащих руд с использованием комплексного собирателя //Вестник ИрГТУ. - № 4 (32). - 2007.
- 15 Справочник по обогащению руд. Основные процессы. – Москва, Недра, 1983.
- 16 Тянь В.Д. Комплексное использование баритовых руд Жайремского месторождения //Комплексное использование минерального сырья. -1992. - № 6. - С.39–45.
- 17 Брагина И., Брагин В.И. Обогащение нерудных полезных ископаемых. - ГАЦМиЗ. - Красноярск, 1995. - 192 с.
- 18 Богданович А.В., Шумская Е.Н., Леман Е.П., Козлов Г.Г. Технология обогащения баритовой руды Хойлинского месторождения физическими методами //Обогащение руд. - 1997. - № 6. - С. 10-14.
- 19 Селиванова Н.В., Тропман Э.П. и др. Применение новых флотореагентов при обогащении полиметаллических баритсодержащих руд //Цветные металлы. - 1990. - № 12. - С.50-53.
- 20 Митрофанов С. И. Исследования полезных ископаемых на обогатимость. – Москва, Госгортехиздат, 1962.
- 21 Леонов С. Б., Белькова О. Н. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – Москва, Интернет инжиниринг, 2001.
- 22 Митрофанов С. И., Барский Л. А., Самыгин В. Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – Москва, Недра, 1974.
- 23 Справочник по обогащению руд. Основные процессы. – Москва, Недра, 1983.
- 24 ГОСТ4790-80. Метод фракционного анализа. – Москва, Издательство стандартов, 1980.
- 25 Райвич И. Д. Отсадка крупнокусковых руд. – Москва, Недра, 1964.
- 26 Шохин В. Н., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения. – Москва, Недра, 1980.
- 27 Серго Е. Е. Опробование и контроль технологических процессов на обогатительных фабриках. – Киев, Вища школа, 1974.
- 28 Справочник по обогащению том 3. – Москва, Недра, 1974.
- 29 Райвич И. Д. Гравитационная обогатимость дробленных руд цветных металлов и расчет результатов их гравитационного обогащения. – Алматы, КазПТИ, 1985.
- 30 Райвич И. Д. Анализ общих закономерностей фракционного состава и классификация руд цветных металлов по их гравитационной обогатимости. – Изв. вуз. Цветная металлургия. 1984 – № 1. – С. 13-18.
- 31 Райвич И. Д. Индекс обогатимости полезных ископаемых гравитационными методами. – Изд. вузов. Цветная металлургия. – 1977. – № 2.
- 32 Карманзин В. И., Серго Е. Е., Жендринский А. П. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых. – Москва, Недра, 1974.

33 Навроцки Е. Графо-аналитические методы оценки работы гравитационных аппаратов. – Москва, Недра, 1980.

34 Мотовилов И. Ю. Применение статистических методов планирования экстремальных экспериментов для выбора и оптимизации условий отсадки мелких классов баритовой руды // Сборник докладов студенческой научной конференции, посвященной 75-летию КазНТУ имени К. И. Сатпаева. – 2009. – С 153-158.

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

36 Хан Г.А., Габриелова Л.И., Власова Н.С. Флотационные реагенты и их применение. Москва, Недра, 2012. – 98 с.

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

38 Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик. – Москва, Недра, 1965.

39 Дубровский В. Б. Радиационная стойкость строительных материалов. – Москва, Государственное издательство строительной литературы, 1977. – 280 с.

40 Махаматхожаев Д. Р., Махмутов М. С., Мелибаев Ж. М., Абдурахмонов Х. Б. Получение модифицированного барита на основе баритовой руды месторождения «Сарибулак», Республики Узбекистан, Молодой ученый, 2017. - 68 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Список опубликованных работ по теме диссертаций

1. Телков Ш.А., Корабаев Б.С., Амирхан А.А. Исследование гравитационной обогатимости моноваритовой руды месторождения Улькенсай // Горный журнал Казахстана №4 2020, - С.44-47.

Код МРНТН 52.45.17

Ш.А. Телжов¹, Б.С. Корабаев¹, А.А. Амырхан²

¹Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.Н. Сатпаева» – Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

²Карагандинский государственный технический университет (г. Караганда, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ОБОГАТИМОСТИ МОНОБАРИТОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬКЕНСАЙ

Аннотация. Статья посвящена преимуществу гравитационного способа получения баритовых концентратов по сравнению с флотационным. В качестве примера авторами были выполнены исследования обогащаемости монобаритовой руды месторождения Улькенсай с целью определения возможности получения гравитационных баритовых концентратов. Исученный granulометрический состав показал, что наибольшее содержание сульфата бария сосредоточено в крупных фракциях, что, в свою очередь, подтверждает возможность обогащения данной руды гравитационными методами. Результаты проведенного фракционного анализа позволяют классифицировать руду как легкообогатимую, а малая плотность разделения дает возможность применения стандартных машин. Разработка технологии гравитационного обогащения монобаритовой руды является актуальной: получение сточных вод утилизацией позволит исключить логистические затраты на расходные материалы при бурении нефти, что повысит ее конкурентоспособность.

Ключевые слова: гравитационное обогащение, месторождение Улькенсай, сыпучий анализ, барит, фракционный анализ, granulометрический состав, выделение, обогащаемость, класс крупности, концентрат.

Улькенсай кен орнының монобарит кенінің гравитациялық байытатыншығын зерттеу

Аннотация. Мақала флотациялық тәсілмен салыстырғанда гравитациялық тәсілмен алынған барит концентраттарының артықшылығын арқаулап, мысал ретінде авторлар гравитациялық барит концентраттарын алу мүмкіндігін анықтау мақсатында Улькенсай кен орнының монобарит кенінің байытатыншығын зерттеу жүргізді. Зертделген granulометриялық құрам барит сульфатының айтарлықтай құрамын ірі фракцияда пайызаланғанын көрсетті, ал бұл өз кезегінде атылған кенді гравитациялық тәсілмен байытуға болатынын дәлелдейді. Жүргізілген фракциялық талдау нәтижесі кенді жеңіл байытатын кен ретінде жіктеуге болатынын дәлелдейді, ал белудің жоғары тығыздығы тұлдару машиналарын пайдалану мүмкіндігін көрсетеді. Монобарит кенін гравитациялық байыту тәсілімен алумен өндіріс шығындары болдырмауға мүмкіндік береді.

Түпнұсқа сөздер: гравитациялық байыту, Улькенсай кен орны, сыпучы анализ, барит, фракциялық анализ, granulометриялық құрам, выделение, байытатыншығы, класс крупности, концентрат.

Analysis of gravity method of beneficiation for mono barite ore of Utkensai deposit

Abstract. The paper describes advantages of barite concentration produced using gravity method as compared to flotation. For illustrative purposes, the authors studied beneficiation characteristics of Utkensai deposit mono barite ore with an aim to determine possibility of barite concentration using gravity method. The particle size distribution analysis has shown that the largest amount of barium sulfate is concentrated in coarse grains, which, in its turn, proves the possibility of Utkensai deposit ore beneficiation using gravity methods. The results of specific gravity analysis evidence that the ore can be classified as easily beneficiated one, and high partition density verifies application of jolting machines. Development of gravity method for mono barite ore beneficiation is relevant today since domestic production of weighing materials will reduce transportation costs for oil drilling consumables which will increase its competitive capacity.

Key words: gravity method of beneficiation, Utkensai deposit, particle size analysis, specific gravity analysis, barite, particle size distribution, process, beneficiation ability, grain size category, concentrate.

Введение

На развитие современной экономики оказывают влияние многие факторы, основным из которых является промышленность. Одним из важных экономических показателей – нефтеобразование нефти, поскольку бюджет многих стран строится на его основе¹. Если рассмотреть технологию добычи нефти поэтапно, то можно сказать, что самым сложным и дорогостоящим является процесс бурения скважин. При бурении нефтяных скважин в качестве утяжелителя буровых растворов используют в основном барит, т. к. он идеально подходит в связи с высокой его плотностью, низкой абразивностью и рядом других свойств².

Минерально-сырьевую базу барита составляют два главных промышленно-геометрических типа месторождений – мономинеральные баритовые и комплексные баритосодержащие полиметаллические месторождения.

Среди первых выделяются баритовые стратиформные (осадочные), жильные (гидротермальные) и остаточные (коры выветривания); среди вторых известны барит-полиметаллические, барит-колчеданно-полиметаллические, а также прочие типы³.

Казахстан является обладателем крупнейших запасов барита (≈ 30%) общемировых запасов, большая часть из которых (≈ 80%) представлена барит-сульфидными рудами, 20% – собственно баритовыми⁴. Основные запасы барита сосредоточены в Центральном Казахстане (72%), меньше (23,6%) – в Южном и всего 4,3% – в Восточном⁵. В Центральном Казахстане в Атасуйском и Каракараганском рудных районах находятся монобаритовые месторождения – Бестюбе, Кемпобе, Жузылсай; в Южном Казахстане также монобаритовые месторождения – Чигалик, Ансай, Улькенсай, Баритовое. В Восточном Казахстане запасы барита

¹Ильичева Т.М., Попова Е.В., Сайытбаева А.Н., Шелепова Г.С. Основы экономики Казахстана в современном мире. – Алматы: Достық және Ғылым, 2011. – 148 с.

²Булганов А.Н., Прохоров Ю.М., Шананов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 2003. – 620 с.

³Алимов Г.Г., Васильев Н.Г. Минеральное сырье. Барит. – Москва, 1997. – 54 с.

⁴Казахстан. Национальная энциклопедия. – Алматы: Казахская энциклопедия, 2005. – 47 с.

⁵<http://www.inform.ru/research/9483>.

Результаты мокрого ситового анализа руды, дробленной до 40 мм

Таблица 1

40 mm deşin ıstamlıdan kendir ıstıgladıgı elektenik malıdu nıstımsıelerı

Кесте 1

Wet-Sieve Analysis Overview for Ore Crushed to 40 mm

Table 1

Классы крупности, мм	Выход, %			Содержание BaSO ₄ , %
	частный	суммарный по (+)	суммарный по (-)	
- 40 + 20	30,32	30,32	100,0	67,07
- 20 + 10	21,30	51,62	69,68	56,03
- 10 + 5	15,16	66,78	48,38	51,60
- 5 + 2,5	10,44	77,22	33,22	45,38
- 2,5 + 1,25	4,05	81,27	22,78	44,45
- 1,25 + 0,63	3,37	84,64	18,73	40,82
- 0,63 + 0,315	2,83	87,47	15,36	45,14
- 0,315 + 0,10	3,19	90,66	12,53	47,47
- 0,10 + 0,0	9,43	100,0	9,34	25,75
Руда	100,0	-	-	53,20

представляли исключительно коллекционно-полуметаллическими месторождениями.

Переработка баритовых руд осуществляется флотационными и гравитационными методами обогащения⁶.

Флотационные баритовые концентраты характеризуются наличием на их поверхности остатков флотационных реагентов, усиливающих гидрофобные свойства минералов барита, которые проявляют вспенивающие свойства и понижают плотность бурового раствора, что, соответственно, увеличивает его расход. Для снятия с поверхности зерен барита адсорбированных реагентов требуется дополнительная их обработка специальными реагентами⁷.

Баритовые концентраты, полученные при обогащении руд гравитационным способом, обладающие природной гидрофильностью и, в отличие от флотационных концентратов, не влияют на реологические свойства буровых растворов, не требуют дополнительной обработки и позволяют снизить расходы [1]. В связи с этим в настоящее время в качестве утяжелителей для буровых растворов в основном используются гравитационные баритовые концентраты⁸.

Методы исследования

С целью определения возможности получения гравитационных баритовых концентратов авторами была исследована на обогатимость монокристаллическая руда месторождения Ульяновск.

Минеральный состав руд: главный – барит, второстепенные – кварц, пирит, псидомалит. Барит мелкозернистый, сероватый, разномерный. При среднем содержании барита 43% запасы его составляют 1218 тыс. т. Месторождение может служить дополнительной сырьевой базой для обогащения предприятий.

Исследуемую пробу руды подвергали дроблению до крупности 40 мм. Гранулометрический состав руды, дробленной до 40 мм, с распределением сульфата бария по классам крупности приведен в табл. 1.

Обсуждение результатов

Гранулометрический состав исследуемой пробы показал, что в руде со средним содержанием барита 51-53% имеется наличие глинистых фракций, что требует предварительной классификации исходной руды.

Результаты ситового анализа показали, что распределение содержания сульфата бария по классам крупности неравномерное. Наиболее высокое содержание барита наблюдается в крупных фракциях, что указывает на целесообразность применения гравитационных методов обогащения.

С целью определения гравитационной обогатимости был выполнен фракционный анализ различных классов крупности (табл. 2).

Результаты фракционного анализа показали, что для получения качественных баритовых концентратов оптимальная плотность разделения составляет 3850-4000 кг/м³ и руду можно отнести к категории легкообогатимой. Также из результатов следует, что в данном случае существует возможность выделения около 30% концентратных фракций с высокими технологическими показателями (табл. 3).

Заключение

Полученные результаты исследований показали, что разработка технологии гравитационного обогащения монокристаллической руды месторождения Ульяновск является актуальной, а получение отечественных утяжелителей позволит исключить логистические затраты на расходные материалы при бурении нефти,

⁶Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. – М.: МГТУ, 2010. – Том 2. «Технология обогащения полезных ископаемых». – 178 с.

⁷Хан Г.А., Габриелова Л.Н., Власова Н.С. Флотационные реагенты и их применение. – М.: Недра, 2012. – 98 с.

⁸Бабанов Э.В., Мотыка Н.Ю. Буровые растворы. – Москва – Владивосток, 2019. – 65 с.

Таблица 2

Распределение сульфата бария по фракциям плотности и классам

Кесте 2

Барий сульфатының тығыздық фракциялары және кластары бойынша бөлу

Table 2

Distribution of Barium Sulfate as per Specific Gravity Fraction and Grade

Плотность разделения, кг/м ³	Выход, % от		Содержание BaSO ₄ , %	Распределение, % от		Класс крупности, мм
	класса	руды		класса	руды	
- 2800	20,50	6,22	6,26	1,91	0,73	40-20
2800-3000	4,65	1,41	37,10	2,56	0,98	
3000-4000	36,35	11,02	79,88	43,30	16,55	
+ 4000	38,50	11,67	91,0	52,23	19,96	
Итого	100,0	30,32	67,07	100,0	38,22	
- 2800	28,43	6,06	5,78	2,94	0,66	20-10
2800-3000	8,26	1,76	28,34	4,19	0,94	
3000-4000	33,22	7,07	74,16	43,94	9,86	
+ 4000	30,09	6,41	91,20	48,93	10,98	
Итого	100,0	21,30	56,05	100,0	22,44	
- 2800	29,88	4,53	4,30	2,52	0,37	10-5
2800-3000	13,01	1,97	21,64	3,44	0,80	
3000-4000	29,88	4,53	72,94	42,24	6,21	
+ 4000	27,23	4,13	94,36	49,80	7,32	
Итого	100,0	15,16	51,60	100,0	14,70	
- 2800	34,05	3,55	4,08	3,03	0,27	5-2,5
2800-3000	14,86	1,55	18,49	6,07	0,54	
3000-4000	26,09	2,72	68,50	39,33	3,50	
+ 4000	25,0	2,62	93,28	51,57	4,59	
Итого	100,0	10,44	45,38	100,0	8,90	
- 2800	41,60	1,69	7,16	6,80	0,23	2,5-1,25
2800-3000	5,88	0,24	20,58	2,66	0,09	
3000-4000	26,26	1,06	60,30	35,50	1,20	
+ 4000	26,26	1,06	93,46	55,04	1,86	
Итого	100,0	4,05	44,45	100,0	3,38	
- 2800	45,09	1,52	7,58	8,49	0,22	1,25 + 0,63
2800-3000	7,10	0,24	20,44	3,47	0,09	
3000-4000	23,80	0,80	55,82	32,43	0,84	
+ 4000	24,01	0,81	94,44	55,61	1,44	
Итого	100,0	3,37	40,82	100,0	2,59	
- 2800	39,40	1,12	7,84	7,08	0,17	0,63-0,315
2800-3000	7,88	0,22	23,04	4,17	0,10	
3000-4000	21,47	0,61	53,46	25,42	0,61	
+ 4000	31,25	0,88	92,38	63,33	1,52	
Итого	100,0	2,83	45,14	100,0	2,40	
- 2800	34,15	0,88	4,90	2,81	0,08	0,315-0,10
2800-3000	6,34	0,16	33,72	3,51	0,10	
3000-4000	24,88	0,89	36,86	21,75	0,62	
+ 4000	34,63	1,26	86,44	71,93	2,05	
Итого	100,0	3,19	47,47	100,0	2,85	
- 2800	28,20	25,57	5,66	2,86	2,73	Сульфидный класс - 40 + 0,1 мм
2800-3000	8,33	7,55	25,65	3,81	3,64	
3000-4000	31,66	28,70	73,01	41,25	39,39	
+ 4000	31,81	28,84	91,76	52,08	49,72	
Итого	100,0	90,66	56,03	100,0	95,48	
Класс 0,1 + 0,0 мм	-	9,34	25,75	-	4,52	0,10 + 0,0
Руда	-	100,0	53,20	-	100,0	40 + 0,0

Концентратные фракции с плотностью более 4000 кг/м³

Таблица 3

Тыжыздыгы 4000 кг/м³ астам концентраттық фракциялар

Кесте 3

Concentrate Fractions with density above 4000 kg/m³

Table 3

Концентратные фракции классов крупности, мм	Плотность фракции, кг/м³	Количество водорастворимых солей, %	Водорастворимые соли кальция, %
40-20	4260	0,34	0,018
20-10	4300	0,31	0,019
10-5	4350	0,38	0,021
5-2,5	4340	0,34	0,016
2,5-1,25	4348	0,28	0,014
1,25-0,63	4370	0,22	0,021
0,63-0,315	4300	0,25	0,012
0,315-0,10	4180	0,26	0,018

что повысит ее конкурентоспособность. Также в последние годы все большее распространение получает атомная энергетика, а поскольку барит используется

как радиоактивный материал, то сфера применения безвредного по сравнению со свинцом радионуклида расширяет сферу применения барита⁹.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Махаматхожаев Д.Р., Махмудов М.С., Мелибаев Ж.М., Абдурахмонов Х.Б. Получение модифицированного барита на основе баритовой руды месторождения Сарибулак Республики Узбекистан. // Молодой ученый. – 2017. – №10(144). – С. 66-70.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДӘБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Махаматхожаев Д.Р., Махмудов М.С., Мелибаев Ж.М., Абдурахмонов Х.Б. Сарыбулак кен орнының барит кенінің негізінде модификацияланган барит алу, Өзбекстан Республикасы. // Жас ғалым. – 2017. – №10(144). – Б. 66-70.

REFERENCE

1. Makhmatkhozhaev D.R., Makhmutov M.S., Melibayev Zh.M., Abdurakhmonov Kh.B. Production of modified barite from barium ore of Saribulak Deposit, Republic of Uzbekistan. // Young Scientist. – 2017. – №10(144). – P. 66-70.

Сведения об авторах:

Тетенов Ш.А., канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Казакский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» – Sathayev University (г. Алматы, Казахстан), s.tetenov@sathayev.university

Карабаев Б.С., магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Казакский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» – Sathayev University (г. Алматы, Казахстан), b.korabayev@sathayev.university

Алиев А.А., магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Химия и химические технологии» Карагандского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), argm-almaz@mail.ru

Авторы туралы мәлімет:

Тетенов Ш.А., техникалық ғылымдар кандидаты, доцент, Sathayev University («К.И. Сатпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» ұлттық акционерлік қоғамы) «Металлургия және пайдалы қабаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан), s.tetenov@sathayev.university

Карабаев Б.С., Sathayev University («К.И. Сатпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» ұлттық акционерлік қоғамы) «Металлургия және пайдалы қабаларды байыту» кафедрасының магистранты (Алматы қ., Қазақстан), b.korabayev@sathayev.university

Алиев А.А., техникалық ғылымдар магистрі, Караганды мемлекеттік техникалық университеті «Химия және химикалық технологиялар» кафедрасының оқытушысы (Караганды қ., Қазақстан), argm-almaz@mail.ru

Information about the authors:

Shamil A. Tetenov, Candidate of Sciences Engineering, Dozent of the Metallurgy and Mineral Processing Department, at the Sathayev University (Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev National Joint Stock Company) (Almaty, Kazakhstan), s.tetenov@sathayev.university

Beksen S. Korabayev, Undergraduate of the Metallurgy and Mineral Processing Department at the Sathayev University (Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev National Joint Stock Company) (Almaty, Kazakhstan), b.korabayev@sathayev.university

Almaz A. Aliyev, Master of Engineering, Chemistry and Chemical Engineering Department Instructor at the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), argm-almaz@mail.ru

⁹Бронсман Б.Е. Радиационная стойкость строительных материалов. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1977. – 280 с.

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

Корабаев Бейсен Саматович

по специальности 6М073700 - Обогащение полезных ископаемых
на тему: «Исследование гравитационной обогатимости моноваритовой руды
месторождения Улькенсай».

При выполнении работы магистрантом использовались новые методики исследования состава баритовых руд и условий их отсадки. Исследован гранулометрический и фракционный составы, определены плотности разделения и индексы гравитационной обогатимости. Исследован процесс отсадки дробленой руды и флотационного обогащения промпродуктов.

Полученные результаты, в своей совокупности, представляют решение актуальной научной задачи по определению закономерностей и совершенствования процесса крупнокусковой отсадки моноваритовых руд, с целью получения качественных баритовых концентратов с высоким извлечением барита.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые были выполнены исследования по обогащению баритовых руд месторождения Улькенсай с применением процесса крупнокусковой отсадки. При этом доказано, что гравитационное разделение осуществляется в пределах крупности, значительно превышающих шкалу равнопадаемости. Полученные результаты подтверждают возможность осуществлять процесс отсадки в широком диапазоне крупности, в одном аппарате, что позволяет значительно упростить технологическую схему обогащения и использовать процесс отсадки для получения качественных баритовых концентратов в широком диапазоне крупности.

Конечным результатом исследования является разработанная принципиально новая технология гравитационного обогащения крупнокусковой моноваритовой руды месторождения Улькенсай с получением высококачественного гравитационного концентрата, удовлетворяющего основным требованиям предъявляемым к баритовым утяжелителям используемых при бурении нефтяных и газовых скважин.

Вопросы, поставленные в магистерской диссертации, решены с необходимой полнотой и на достаточно высоком научном уровне, что

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К. И. САТПАЕВА

позволяет считать данную работу законченной. Основные результаты работы опубликованы в научных журналах.

На основании вышесказанного можно отметить, что по совокупности признаков представленная магистерская диссертация соответствует предъявляемым требованиям, а магистрант Корабаев Бейсен Саматович заслуживает присуждения ему ученой степени магистра по специальности 6М073700 - «Обогащение полезных ископаемых».

Научный руководитель
Кандидат технических наук, доцент



Ш. А. Телков

01 июня 2020 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Корабаев Бейсен Саматович

по специальности 6М073700 - Обогащение полезных ископаемых
На тему: «Исследование гравитационной обогатимости монобаритовой руды месторождения Улькенсай».

Выполнено:

а) графическая часть на 12 листах

б) пояснительная записка на 59 страницах

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

На сегодняшний день ценообразование нефти является одним из ключевых факторов экономики. К данному фактору привязаны бюджеты стран, которые впоследствии влияют на все аспекты жизнеобеспечения. Основную долю затрат при добыче нефти занимает процесс бурения скважин, при котором используются буровые растворы. В качестве утяжелителя в буровых растворах используется барит, т.к. он по своим физико-химическим свойствам идеально подходит для данного процесса.

Республика Казахстан занимает первое место по разведанным запасам барита в мире. Они составляют свыше 150 млн. тонн барита, что составляет около 30 % общемировых запасов. Переработка имеющихся руд несомненно создаст новые рабочие места и позволит получить отечественный барит, который снизит затраты на единицу добываемой в нашей стране нефти.

Также следует отметить, что способы получения баритовых концентратов, значительно влияют на его последующее применение в качестве утяжелителей буровых растворов. Расход флотационных баритовых концентратов существенно больше гравитационных, что связано с наличием на их поверхности остатков флотационных реагентов, которые проявляют вспенивающие свойства и понижают плотность буровых растворов. Баритовые концентраты, полученные гравитационным способом, обладают, природной гидрофильностью и в отличие от флотационных концентратов, не влияют на реологические свойства буровых растворов, что значительно снижает их расход.

В магистерской диссертации в необходимом объеме выполнен литературный обзор состояния промышленного освоения месторождений баритовых руд и технологий их переработки в Казахстане и в мире.

Проведена грамотная постановка задач исследований.

Изучен минералогический, химический, гранулометрический и фракционный состав. При проведении исследований были определены

плотности разделения необходимые для получения тяжелых концентратных фракций с высоким содержанием барита и рассчитаны индексы гравитационной обогатимости для всех обогащаемых классов крупности.

Полученные результаты позволили магистранту грамотно провести исследования по отсадке и разработать оптимальную технологию обогащения, исключая дорогостоящие операции рудоподготовки (мелкое дробление и измельчение).

Для более полного извлечения барита магистрантом были проведены исследования по определению оптимального собирателя для флотации промпродуктов гравитационного обогащения.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в журнале «Горный журнал Казахстана» №4 2020.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

К магистерской диссертации имеется ряд замечаний:

- 1) В литературном обзоре слишком много внимания уделено геологической части и запасам баритового сырья.
- 2) В конце каждой главы имеются выводы, можно было бы привести все выводы в конце диссертации.

ОЦЕНКА РАБОТЫ

Вопросы, поставленные в магистерской диссертации, решены с необходимой полнотой и на достаточно высоком научном уровне, что позволяет считать данную работу законченной. На основании этого можно отметить, что по совокупности признаков представленная магистерская диссертация соответствует предъявляемым требованиям, а магистрант Корабаев Бейсен Саматович заслуживает присуждения ему ученой степени магистра по специальности 6М073700 - «Обогащение полезных ископаемых».

Копия подписана	Квятковского С.А.
расставлен / заверен	
Бейсенов М.Хатиджа / Главный ученый секретарь	
«Металлургия және кен байлыту институты» АҚ	
«	20 10 ж. С.Т.М.

Рецензент

Квятковский Сергей Аркадьевич

Занимаемая должность: заведующий лабораторией
«Пирометаллургии тяжелых цветных металлов: АО «ЦНЗМО»
доктор технических наук



+

«...» 2020г.

ДАТА ОТЧЕТА: 2020-06-29 16:37:15

НАЗВАНИЕ:
ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ОБОГАТИМОСТИ МОНОБАРИТОВОЙ РУДЫ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬКЕНСАЙ

АВТОР:
Корабаев Бейсен Санатович

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
Шамиль Телюков

ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ:
ИМГиП

ДАТА ЗАГРУЗКИ ДОКУМЕНТА:
2020-06-29 16:31:00

КОЛИЧЕСТВО ПОВТОРНЫХ ПРОВЕРОК ДОКУМЕНТА:
1

ПРОПУЩЕННЫЕ ВЕБ-СТРАНИЦЫ: 1

Объем найденных подобиий

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся манипуляций в тексте, с целью изменить результаты проверки. Для того, кто оценивает работу на букаанном носителе или в электронном формате, манипуляций могут быть невыявлены (может быть такое целенаправленное вписывание ошибок). Следует оценить, являются ли изменения преднамеренными или нет.

Замена букв	4	показать в тексте
Иногда замена символов на другие алфавиты - может изменить на способ обхода системы, потому следует уделить внимание их использованию.		
Интервалы	0	показать в тексте
Изменение увеличенного расстояния между буквами (можно определить, являются ли расстояния настраиваемой пробелом, так как иногда слова могут быть выведены слитно).		
Микропробелы	0	показать в тексте
Изменение пробелов с нулевым размером - необходимо проверить, являются ли они на неправильное разделение слов в тексте.		
Белые знаки	0	показать в тексте
Изменение символов, выделенных белыми цветом, может привести к использованию ли белые символы вместо пробела, создавая слова (в отчете подобиия система считает автоматически цвет букв в черном, чтобы не сделать видимость).		

Подобия по списку источников

Посмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (сопоставляющие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника («цитаты»).

10 самых длинных фраз (0,70 %)

Десять самых длинных фрагментов найденных во всех доступных ресурсах.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	АВТОР	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ
1	ФИЛЛОЦИДНЫЕ ОПУХОЛИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ (- Paperity)	A.-L. Hartikainen;	13 0,27 %
2	https://studopedia.ru/12_3949_markirovka-upakovka-i-b-poverie-lutsk-i-iz-nastava.html		7 0,14 %
3	https://studopedia.ru/12_3949_markirovka-upakovka-i-b-poverie-lutsk-i-iz-nastava.html		7 0,14 %
4	Исследование гравитационной обогатимости клинкера и определение оптимальных параметров его обогащения с использованием процесса отсадки Seibayer University (F_M_U)	Казанова Анар Нигметовна	7 0,14 %

из базы данных RefBooks (0,27 %)

Все фрагменты найдены в базе данных RefWorks, которая содержит более 3 миллиардов научных публикаций.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	ABTOP	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ СЛОВ (КОЛИЧЕСТВО ФРАГМЕНТОВ)	
Источники: Puberty				
1	ФИЛЛОИДНЫЕ ОПУХОЛИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	(A.-L. Hartikainen;)	13 (1)	0,27 %

из домашней базы данных (0,14 %)

Все фрагменты найдены в базе данных вашего университета.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	АВТОР	ДАТА ИНДЕКСАЦИИ (АРХИВАЦИИ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	Исследование гравитационной обогатимости клинкера и определение оптимальных параметров его обогатимости с использованием процесса отсады Sathaye University (F_M_R)	Кааханова Анар Нисметовна	2018-06-08	7 (1)	0,14 %

из программы обмена базами данных (0,00 %)

Все фрагменты найдены в базе данных других университетов.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ НАЗВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ	АВТОР	ДАТА ИНДЕКСАЦИИ (АРХИВАЦИИ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ СЛОВ (КОЛИЧЕСТВО ФРАГМЕНТОВ)
---------------------	----------------------------------	-------	-----------------------------------	--

ЗАЙМСТВОВАНИЙ НЕ НАЙДЕНО

из интернета (0,29 %)

Все фрагменты найдены в глобальных интернет-ресурсах открытого доступа.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	https://studosella.ru/12_3049_marcinida-studosella-i-branenie-ideally-i-ghostman.html	14 (2)	0,29 %

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: Корабаев Бейсен Саматович

Название: ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ОБОГАТИМОСТИ МОНОБАРИТОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЬКЕНСАЙ

Координатор: Шамиль Телков

Коэффициент подобия 1:0,7

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:4

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

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

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

Обоснование:

Работа выполнена добросовестно и не обладает признаками плагиата

03.07.2020 г.

Дата

Барменчикова М.Б.

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Магистерская диссертация на тему: "Исследование эволюционной
обязанности монобратовой пары млекопитающих "Улькенсч"
выполнено самостоятельно, достоверно и не обладает
признаками плагиата

Допуск к защите

03.07.2022 г.

Барменников М.Б.

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

