

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

Кафедра Metallургии и обогащения полезных ископаемых

Даруеш Галамат Султанбекулы

Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии  
переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с  
содержанием марганца не менее 38%.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Специальность 6M073700- «Обогащение полезных ископаемых»

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева  
Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова  
Кафедра Metallургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.75/77 (043)

На правах рукописи

Даруеш Галамат Султанбекулы

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

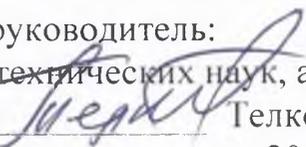
Название диссертации:

Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с содержанием марганца не менее 38%.

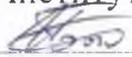
Направление подготовки:

6M073700- «Обогащение полезных ископаемых»

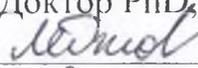
Научный руководитель:

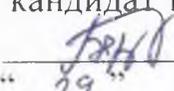
Кандидат технических наук, ассоц профессор  Телков Ш.А.  
" 29 " мая 2019 г.

Рецензент:

Старший научный сотрудник АО «Институт металлургии и обогащения»  
 Бондаренко И.В.  
" 28 " мая 2019 г.

Нормоконтроль :

Доктор PhD, лектор  Мотовилов И.Ю.  
" 29 " 05 2019 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
заведующий кафедрой МиОПИ кандидат технических наук  
 Барменшинова М.Б.  
" 29 " 05 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

Кафедра Metallургии и обогащения полезных ископаемых

6M073700- «Обогащение полезных ископаемых»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой Metallургии  
и обогащения полезных ископаемых  
кандидат технических наук

Барменшинова М.Б.

29 мая 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской работы**

Магистрату: Даруеш Галамат Султанбекулы

Тема: «Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с содержанием марганца не менее 38%».

Утверждена приказом Ректора Университета №155 от "30" 10 2017 г.

Срок сдачи законченной работы "29" мая 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: Марганцевые хвосты месторождения Ушкатын III.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Введение. Литературный обзор;

б) Исследовательская часть;

в) Заключение;

г) Список использованной литературы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены \_\_\_\_\_ слайдов презентации работы .

Рекомендуемая основная литература:

1.Рахманов В.П. Марганец. Справочник по рудам черных металлов для геологов. – М.: Недрa, 1985,с.77-186.

2.Исследование на обогатимость марганцевой руды месторождения «Тур»/ Телков Ш.А., Студенцов В.В. и др.// Казмеханобр.- Алматы, 1996.- 63

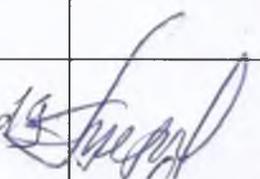
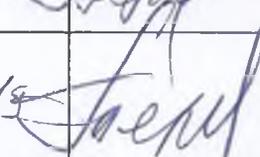
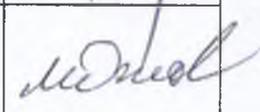
с.

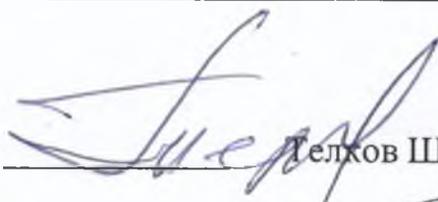
**ГРАФИК**  
подготовки магистерской работы

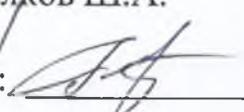
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор и обоснование направления магистерской диссертации	25.08.2017-20.05.2018	
Исследовательская работа	25.08.2018-29.03.2019	
Оформление магистерской диссертации	30.03.2019-24.05.2019	

**Подписи**

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

Наименования разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата Подписания	Подпись
Теоретическая часть	Телков Ш.А к.т.н. доцент, ассоц.проф.	29.05.2019	
Исследовательская часть	Телков Ш.А к.т.н. доцент, ассоц.проф.	29.05.2019	
Нормоконтролер	Мотовилов И.Ю. Доктор PhD, лектор	29.05.2019	

Научный руководитель:  Телков Ш.А.

Задание принял к исполнению обучающийся:  Даруеш Г.С.

Дата «29» мая 2019 г.

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую диссертацию  
Даруеш Галамат Султанбекулы  
по специальности 6M073700 – «Обогащение полезных ископаемых»  
на тему: «Исследование гравитационной обогатимости и разработка  
технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением  
концентрата с содержанием марганца не менее 38%».

Исследования, которые были положены в основу магистерской диссертации, выполнялись в течение двух лет.

При выполнении работы использовались современные методики исследования состава марганцевых хвостов и их гравитационную и магнитную обогатимость.

В работе в необходимом объеме исследован вещественный и гранулометрический состав шламов. Определено распределение марганца и железа по классам крупности. Исследован фракционный состав шламов, который позволил оценить их гравитационную обогатимость. Результаты изучения вещественного, гранулометрического и фракционного составов позволили определить оптимальную крупность обогащаемых классов приемлемых для гравитационного и магнитного обогащения.

Определен характер разделения минеральных зерен по плотности и крупности при отсадке различных классов марганцевых хвостов.

Исследованы магнитные свойства марганцевых шламов различной крупности.

Полученные результаты исследований, в своей совокупности, позволили решить актуальную задачу по разработке экономически эффективной технологии переработки марганцевых шламов, с возможностью получения марганцевого концентрата с содержанием марганца не менее 38%.

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

Основные результаты работы опубликованы в научных журналах.

Таким образом, по совокупности признаков магистерская диссертация магистранта Даруеш Галамат Султанбекулы соответствует предъявляемым требованиям, а автор заслуживает присуждения ему ученой степени магистра по специальности 6M073700 – «Обогащение полезных ископаемых».

Научный руководитель  
Кандидат технических наук, доцент  
« 3 » 06 2019 г.

Ш. А. Телков

## РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Даруеш Галамат Султанбекулы

по специальности 6M073700 – «Обогащение полезных ископаемых»

На тему: Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с содержанием марганца не менее 38%.

Выполнено:

- а) графическая часть на \_\_\_\_\_ слайдах
- б) пояснительная записка на \_\_\_\_\_ страницах

### ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

Развитие мировой промышленности черных металлов характеризуется, с одной стороны, повышением объема выплавки стали и в связи с этим ростом потребления марганцевых руд, а с другой – снижением среднего содержания марганца в добываемых рудах. Широкое применение марганцевых хвостов стало возможным благодаря использованию новых технологий, которые позволяют получать марганцевые концентраты высокого качества.

Легкообогатимые месторождения по всему миру почти отработаны. Классические горные технологии добычи полезных ископаемых из литосферы и получения из них продукции в настоящее время приблизились к пределу своего развития и совершенствования и не могут экономически выгодно использоваться к труднообогатимым месторождениям. К тому же резко ухудшились различные характеристики природных (геогенных) месторождений минерального сырья. Разведанные марганцевые руды большинства месторождений Казахстана обладают низким качеством, что в свою очередь приводит к тому, что эти месторождения классифицируются как забалансовые.

Уменьшение классической сырьевой базы принуждает находить новый вид сырья. Самым перспективным являются забалансовые руды и хвосты обогатительных фабрик, которые по объему исчисляются миллионами тонн. Нахождения экономически выгодных технологий обогащения всех видов хвостов обогатительных фабрик является важнейшим направлением горнодобывающей промышленности во всем мире.

В настоящее время в Республике Казахстан на Жайремском месторождении марганцевых руд скопилось большое количество техногенных отходов представленных марганцевыми шламами, разработка технологий переработки которых является актуальной задачей.

Применение хвостов в качестве сырья позволяет дополнительно получать марганцевые концентраты и уменьшает площадь необходимую для их хранения. Это в свою очередь определяет актуальность и перспективность исследований.

В связи с этим, перед магистрантом поставлена задача, разработать технологическую схему обогащения марганцевых шламов, с применением магнитного и гравитационного обогащения для получения марганцевого концентрата с содержанием марганца не менее 38%.

Автором работы проведена грамотная постановка задач исследований для достижения поставленной цели.

В работе изучен минералогический, химический, гранулометрический и фракционный состав марганцевых хвостов. Грамотно поставлены опыты по гравитационному и магнитному обогащению с использованием процессов отсадки, концентрации на столе, магнитной сепарации.

На основании полученных результатов разработаны и предложены гравитационные и гравитационно-магнитные схемы обогащения с получением марганцевых концентратов с содержанием марганца не менее 38 %.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в материалах международной научно-практической конференции на тему: Эффективность производства цветных, редких и благородных металлов (ИМиО).

Методики, использованные в рецензируемой магистерской диссертации, в частности методика проведения фракционного анализа, постановка активного эксперимента могут быть использованы в учебном процессе для развития навыков исследовательской работы у студентов.

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

1) По результатам фракционного анализа не проведен расчет кривых обогатимости.

### ОЦЕНКА РАБОТЫ

Полученные результаты исследований сравнимы с лучшими достижениями в области переработки техногенных марганецсодержащих продуктов. Исследования выполнены на высоком уровне, заслуживают оценку отлично и присвоения автору Даруешу Г. С. степени магистра по специальности 6М073700 – Обогащение полезных ископаемых.

Рецензент



Бондаренко Игорь Владимирович

Занимаемая должность: старший научный сотрудник АО «Институт металлургии и обогащения», кандидат технических наук.

«28» мая 2019 г.

Қолы/подпись
<i>Бондаренко И.В.</i>
распайым / заверю
Бас ғылыми хатшы / Главный ученый секретарь
«Металлургия және кен байыту институты» АҚ
« 28 » 05 20 19 ж. <i>Сәтпейіс</i>



## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

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

**Автор:** Даруеш Галамат Султанбекулы

**Название:** Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с содержанием марганца не менее 38%.

**Координатор:** Шамиль Телков

**Коэффициент подобия 1:** 6,8

**Коэффициент подобия 2:** 1,1

**Тревога:** 4

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

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

Обоснование:

Обнаружены замечания в работе  
добровольцев



Дата

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

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

**Автор:** Даруеш Галамат Султанбекулы

**Название:** Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с содержанием марганца не менее 38%.

**Координатор:** Шамиль Телков

**Коэффициент подобия 1:**6,8

**Коэффициент подобия 2:**1,1

**Тревога:**4

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:

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

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

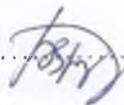
начальника структурного подразделения

Барменшинов М.Б. (подпись)

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Работе допускаются к защите

29.05.2019

Барменщиков М.Б. 

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертации исследовалась обогатимость марганцевых хвостов полученных в результате переработки марганцевых руд месторождения Ушкатын III, с содержанием марганца 17,42 %, с целью получения концентрата с содержанием марганца не менее 38 %.

Выполнен литературный анализ характеристики марганцевых месторождений РК и технологий переработки марганецсодержащего сырья. Обосновано выбранное направление магистерской диссертации.

Исследованы гранулометрический, химический, минералогический состав марганцевых шламов полученных в результате переработки марганцевых руд месторождения Ушкатын III.

Разработана экономически выгодная и экологически чистая технологическая схема переработки марганцевых шламов, с получением марганцевых концентратов пригодных для производства ферросплавов.

## АҢДАТПА

Бұл магистрлік диссертацияда құрамында кемінде 38 % марганец бар концентратты алу мақсатында, құрамында 17,42 % марганец бар Үшқатын III кен орнының марганец кендерін байыту нәтижесінде алынған марганец қалдықтарының байытылуы зерттелді.

ҚР марганец кен орындарының мінездемесіне және құрамында марганец бар шикізатты байыту технологиясы турады әдеби талдау жасалды. Магистрлік диссертацияның таңдалған бағыты расталды.

Үшқатын III кен орнының марганец кендерін қайта өңдеу нәтижесінде алынған марганец шламдарының гранулометриялық, химиялық, минералогиялық құрамы зерттелді.

Ферроқорытпаларды өндіруге жарамды марганец концентраттарын ала отырып, марганец шламдарын байытудың экономикалық тиімді және экологиялық таза технологиялық схемасы әзірленді.

## ANNOTATION

The master's thesis investigated the enrichment of manganese tailings obtained as a result of processing manganese ore deposits Ushkatyn III, with a manganese content of 17.42 %, in order to obtain a concentrate with a manganese content of at least 38 %.

The literary analysis of the characteristics of manganese deposits of Kazakhstan and technologies of processing of manganese-containing raw materials. The chosen direction of the master's thesis is substantiated.

The granulometric, chemical, mineralogical composition of manganese slurries obtained as a result of processing of manganese ores of the Ushkatyn III Deposit was studied.

Developed cost-effective and environmentally friendly technological scheme of processing of manganese sludge to produce manganese concentrates suitable for the production of ferroalloys.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 Литературный обзор	11
1.1 Общие сведения о марганце	11
1.2 Минерально-сырьевая база марганца в мире	12
1.3 Минерально-сырьевая база марганца в казахстане	13
1.4 Техногенные месторождения марганца в казахстане	18
1.5 Обогащение марганецсодержащего сырья	19
1.6 Факторы, определяющие промышленную ценность марганцевых концентратов	23
1.7 Перспективные направления развития технологии обогащения марганцевых руд	25
1.8 Выводы после исследования марганца в литературных источниках	26
2 Исследовательская часть	27
2.1 Объект исследований	27
2.2 Минералогический и химический состав шламов	28
2.2.1 Минералогическое описание руды	31
2.2.1.1 Описание аншлифов	32
2.2.1.2 Выводы минералогического состава марганцевых шламов	38
2.3 Гранулометрический состав шламов	39
2.3.1 Гранулометрический состав шламов, исходной крупности	39
2.3.2 Гранулометрический состав шламов додробленных до крупности 2,5(3) мм	40
2.4 Фракционный состав шламов	41
2.4.1 Фракционный анализ классов крупностью 2,5 – 0,63 мм, 0,63 – 0,071 мм и 0,071 – 0,0 мм	41
2.5 Гравитационное обогащение марганцевых шламов	43
2.5.1 Отсадка класса крупностью 3 – 0,071 мм	44
2.5.2 Отсадка класса крупностью 3 – 0,63 мм	46
2.5.3 Обогащение класса 0,63 - 0,071 мм на концентрационном столе	49
2.6 Обогащение класса 0,63 -0,071 мм магнитной сепарацией	51
2.7 Обогащение широко классифицированного класса крупности 3 -0,071 мм магнитной сепарацией	52
2.8 Проверка возможности снижения содержания железа в концентрате отсадки класса крупностью 3 – 0,63 мм магнитной сепарацией	54
2.9 Рекомендуемые схемы переработки и получаемые технологические показатели	58
2.9.1 Гравитационная схема переработки шламов с использованием процесса отсадки широко классифицированного класса	58

2.9.2	Гравитационная схема переработки с использованием процесса отсадки и обогащения на концентрационном столе	59
2.9.3	Гравитационно-магнитная схема переработки марганцевых шламов	60
2.9.4	Схема переработки марганцевых шламов с использованием процесса магнитной сепарации	62
2.10	Сводные показатели по рекомендуемым схемам переработки	63
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	66
	Приложение А. Оттиски опубликованных статей	68

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие мировой промышленности черных металлов характеризуется, повышением объема выплавки стали и увеличением потребления марганцевых руд и концентратов. Одновременно происходит снижение среднего содержания марганца в добываемых рудах и уменьшение количества разрабатываемых месторождений.

Сокращение сырьевой базы вынуждает использовать новые виды марганцевого сырья. Одним из перспективных видов сырья являются техногенные руды и хвосты обогатительных фабрик, которые по запасам исчисляются миллионами тонн. Нахождение экономически и экологически выгодных технологий обогащения хвостов и техногенного сырья является важным направлением горнодобывающей отрасли.

**Актуальностью** данной магистерской диссертации является рассмотрение возможности использования марганцевых отходов в качестве исходного сырья для получения качественных марганцевых концентратов с дальнейшим их применением в производстве ферросплавов.

**Целью магистерской диссертации** является разработка экономически выгодной и экологически чистой технологии переработки марганцевых отходов, с получением марганцевого концентрата удовлетворяющие требования металлургической промышленности.

**Объектом исследования** являлись марганцевые хвосты (шламы), полученные в результате обогащения марганцевых руд месторождения Ушкатын III.

**Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи:**

- исследовать гранулометрический состав марганцевых шламов и характер распределения марганца по классам крупности;
- исследовать фракционный состав марганцевых шламов и характер распределения марганца по фракциям плотности и крупности;
- определить плотности разделения необходимых для выделения тяжелых (концентратных) и легких (отвальных) фракций;
- исследовать гравитационную обогатимость шламов;
- исследовать магнитную обогатимость шламов;
- разработать технологическую схему обогащения марганцевых шламов с использованием гравитационных и магнитных процессов обогащения.

**Научная новизна работы** заключается в определении возможности получения кондиционных марганцевых концентратов из отходов обогатительного производства.

**Практическая значимость** заключается в определении обогатимости марганцевых шламов, полученные в результате обогащения марганцевой руды месторождения Ушкатын III, с применением экономически выгодных и экологически чистых гравитационных и магнитных процессов обогащения.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Общие сведения о марганце

Марганец — серебристо-белый металл, обладающий следующими свойствами [1]:

- плотность — 7,21-8,44 г/см<sup>3</sup>;
- твердость — 400-420 кг/мм<sup>2</sup>;
- удельная теплоемкость при 298 К — 0,478 кДж/(кг·К);
- теплопроводность при 298 К — 66,57 Вт/(м·К);
- удельная магнитная восприимчивость —  $0,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/кг;
- удельное электрическое сопротивление —  $(1,5—2,6) \cdot 10^{-6}$  Ом·м;
- Марганец имеет степени окисления от +2 до +7, но наиболее характерное его состояние +2, +4, +7.

Кларк марганца в литосфере составляет 0,1%. В природных системах марганец входит в геохимическую триаду Fe-Mn-Al. В рудах большинства марганецсодержащих месторождений марганец представлен преимущественно разнообразными оксидами и гидроксидами, карбонатами, отчасти силикатами и в гораздо меньшей мере сульфидами. Известно около 150 минералов, в решетку которых входит этот металл.

Наиболее распространенными минералами марганца являются:

- оксиды и гидроксиды: пиролюзит ( $MnO_2 \cdot xH_2O$ ), браунит ( $3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), гаусманит ( $(Mn^{II}Mn_2^{III})O_4$ ), манганит ( $MnO(OH)$ ), вернадит ( $(MnO_2)(Mn,Fe,Ca)(O,OH)_2 \cdot nH_2O$ ), псиломелан ( $mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ ), голландит ( $MnBaMn_6O_{14}$ ), биксбиит ( $(Mn, Fe)_2O_3$ ), бернессит ( $(Na_{0,3}Ca_{0,1}K_{0,1})(Mn^{4+}, Mn^{3+})_2O_4 \cdot 1.5H_2O$ ) и др.;
- карбонаты: родохрозит ( $MnCO_3$ ), манганокальцит ( $(Ca, Mn)CO_3$ ), кутнагорит ( $Ca(Mn,Mg,Fe)(CO_3)_2$ ) и др.;
- силикаты: родонит ( $(Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg, Ca)SiO_3$ ), марганецсодержащие гранаты, оливины ( $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ ), пироксены ( $MnMgSi_2O_6$ ), амфиболы ( $AB_2C_5T_8O_{22}W_2$ ) и др.

Таблица 1 - Физические свойства основных марганцевых минералов

Минерал	Содержание Mn, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость (по шкале Мооса)	Удельная магнитная восприимчивость $\alpha \cdot 10^6$ , см <sup>3</sup> /г	Диэлектрическая постоянная	Температура плавления, °С
Пиролюзит	60-63,2	4,7-5	2-6,5	2-120	Нет данных	1050
Псиломелан	45-60	4-4,71	4-6	3-87	49-58	1000

Продолжение таблицы 1

Минерал	Содержание Mn, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость (по шкале Мооса)	Удельная магнитная восприимчивость $\times 10^6$ , см <sup>3</sup> /г	Диэлектрическая постоянная	Температура плавления, °С
Манганит	62,5	4,2-4,33	3,5-4	28,2-43	81	1000
Браунит	60-69,5	4,7-5	6-6,5	90-180	Нет данных	1200
Гаусманит	72	4,7-4,9	5-5,5	44-280	То же	1567
Вернадит	44-52	1,8-3,3	2-3	Нет данных		1100-1200
Тодорокит	47-54	3,3-3,8	1,4-1,5	То же		660-800
Рансьеит	43-50	2,8-3,3	2-3			640-670
Родохрозит	47,8	3,5-3,8	3-4	104-205	8,1-8,6	600
Манганокальцит	20-25	3,34	3,5-4	53,4-87,7	7,5-11,2	700
Родонит	32-41	3,4-3,8	5,5-6,5	Нет данных	Нет данных	1130-1150
Бустамит	12-20	3,3-3,46	5,5-6	То же	То же	Нет данных

## 1.2 Минерально-сырьевая база марганца в мире

Ресурсы и запасы марганцевых руд выявлены в 56 странах мира. Общие запасы марганца в мире составляют 8,5 млрд. т, подтвержденные – 3,5 млрд. т. Основные месторождения сосредоточены в десяти странах – ЮАР, Украине, Казахстане, России, Габоне, Грузии, Австралии, Бразилии, Китае, Болгарии, Индии. Запасы каждой из этих стран превышают 100 млн. т. Самые высокосортные руды (концентрации оксидов марганца – 40–45%) – в ЮАР, Габоне, Австралии и Бразилии, однако в мировом балансе богатые руды составляют не более трети. В распоряжении остальных стран находится сырье среднего и низкого качества (содержание марганца – 20–30%). [12]

Ведущими поставщиками сырья на мировые рынки являются Австралия, ЮАР, Габон, Бразилия, Намибия, Гана, Индонезия, Индия и Вьетнам. Около 13 млн. т марганцевой руды идет на экспорт, причем 76% поставок пришлось всего на четыре страны – Австралию, Бразилию, Габон и ЮАР. Африканские страны (кроме ЮАР) и Австралия почти не имеют собственного ферропроизводства, поэтому 90% руды продают на мировых рынках.

Основные потребители марганцевого сырья – страны, располагающие развитой ферросплавной промышленностью, – Китай, ЮАР, Украина, Россия, Япония, Бразилия, Индия, Казахстан и Норвегия. Крупнейшим импортером

руды в последние годы стал Китай, собственных ресурсов которого недостаточно для удовлетворения резко растущего ферропроизводства. Страна располагает своей добычей руды, однако из-за ее низкосортности производители сплавов вынуждены использовать смесь отечественных руд с высококачественным привозным сырьем из Австралии и Африки.

Таблица 2 -Список стран по добыче марганцевой руды за 2015 год, основан на данных Геологической службы США [12]

№	Страна	Добыча руды (тонн)
	Мир	18,500,000
1	ЮАР	6,200,000
2	Австралия	3,000,000
3	КНР	2,900,000
4	Габон	1,800,000
5	Бразилия	1,000,000
6	Индия	950,000
7	Малайзия	400,000
8	Украина	390,000
9	Казахстан	390,000
10	Гана	390,000
11	Мексика	240,000
12	Мьянма	100,000
	Остальные страны	400,000

### 1.3 Минерально-сырьевая база марганца Казахстана

Балансовые запасы марганцевых руд в Казахстане более 400 млн.т. Основные балансовые запасы (99 %) марганцевых руд сосредоточены в Атасуйском рудном районе Центрального Казахстана [11].

Таблица 3 - Месторождения и запасы марганцевых руд Казахстана

Наименование объекта	Запасы, тыс.т, всего	Запасы,тыс.т		Содержание Mn,%	Содержание Fe, %
		Руды окис.	Руды перв.		
Западный Каражал	398158	-	398158	20,76	8,76
Восточный Каражал	1538	-	1538	32,30	10,30
Дальний Восток	14413	-	14413	21,06	2,62

Продолжение таблицы 3

Наименование объекта	Запасы, тыс.т, всего	Запасы, тыс. т		Содержание Mn, %	Содержание Fe, %
		Руды окис.	Руды перв.		
Большой Ктай	1387	-	1387	23,31	12,37
Средний Ктай		-	99	36,50	8,34
Акшагат	4900	4900	-	18,21	
Керегетас	336	336	-	23,67	12,60
Северный Керегетас	557	557	-	22,65	7,00
Шокпартас	300	300	-	22,00	1,86
Полуденное	300			22,00	10,00
Северо-Западное	1200	1200	-	15,20	5,00
Придорожное	400	400	-	11,18	10,98
Алтын-Шоко	837	-	837	14,96	4,00
Караой	1000	200	800	20,00	4,00
Аккудук	200	100	100	21,00	3,00
Овражное	500	500	-	22,00	2,00
Ушкатын I	18750	300	18450	11,74	30,62
Ушкатын II	5938	-	5938	11,72	27,76
Ушкатын III	196439	5000	191439	23,78	6,85
Жомарт	5255	1622	3633	24,29	5,96
Тубай	6000	-	6000	24,00	1,13
Арап	11500	200	11300	18,71	2,00
Южный Арап	3000	-	3000	20,57	6,38
Восточное Сюртысу I	400	400		17,00	4,00
Восточное Сюртысу II	12000	-	12000	17,92	4,74
Восточное Сюртысу III	6000	-	6000	18,48	16,37
Камыс	26618	4920	21698	17,60	3,70
Аксай	140	140	-	23,90	1,50
Богач	2700	1065	1660	27,20	9,70
Тур	9200	9200	-	22,14	9,26
Жаксыкон	6864	6864	-	20,00	9,00
Всего					
балансовых руд	780113	35576	744537		
забалансовых руд	220988				
Итого	1001051	35576	744537		

*Месторождение Ушкатын III* (Жанааркинский район, Жезказганская область). Балансовые запасы марганцевых руд на 01.01.1996 г. составляли 193825 тыс. т (по категории А+В+С1+С2) при среднем содержании марганца 23,2 %, забалансовые - 13636 тыс. т. Содержание марганца от 8 до 16 % (среднее 12 %). В рудах в повышенном количестве присутствует германий (среднее 21,6 г/т в железомарганцевых рудах и 33,6 г/т в железных рудах), свинец (в коронадитовых рудах от 1 до 12 %), цинк. В целом месторождение Ушкатын относился к крупнейшим объектам легкообогатимыми рудами[6].

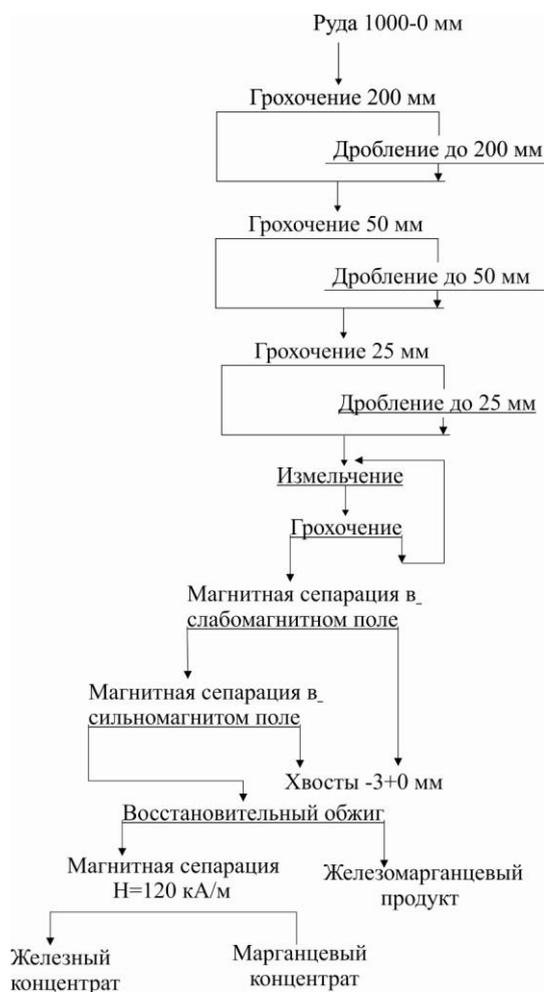


Рисунок 1 - Технологическая схема обогащения железистой первичной марганцевой руды месторождения “Ушкатын-III”



Рисунок 2 - Технологическая схема обогащения маложелезистой первичной марганцевой руды месторождения “Ушкатын-III”,

*Месторождение “Тур”* (Тенгизский район Карагандинская область). Содержание марганца в рудных телах варьирует от 10,0 до 49,64 % (среднее по месторождению 20,20 %); железа - 1,20- 53,20 % (среднее 13,40 %); фосфора - 0,01-0,04 %; серы - 0,03 %; германия - 3 г/т [4].

Основными рудными минералами являются пиролюзит, псиломелан, вернадит, гематит, браунит. нерудными - кварц, полевой шпат, каолинит, гидрослюда (в сумме 21-44 %).

Предварительные (1995 г.) подсчеты запасов марганцевых руд категории С<sub>1</sub> показали 15 млн.т (при содержании марганца 20,20 %), категории С<sub>2</sub> - 1,5 млн.т. Прогнозные ресурсы оцениваются в 3 млн.т (коэффициент достоверности 0,5).

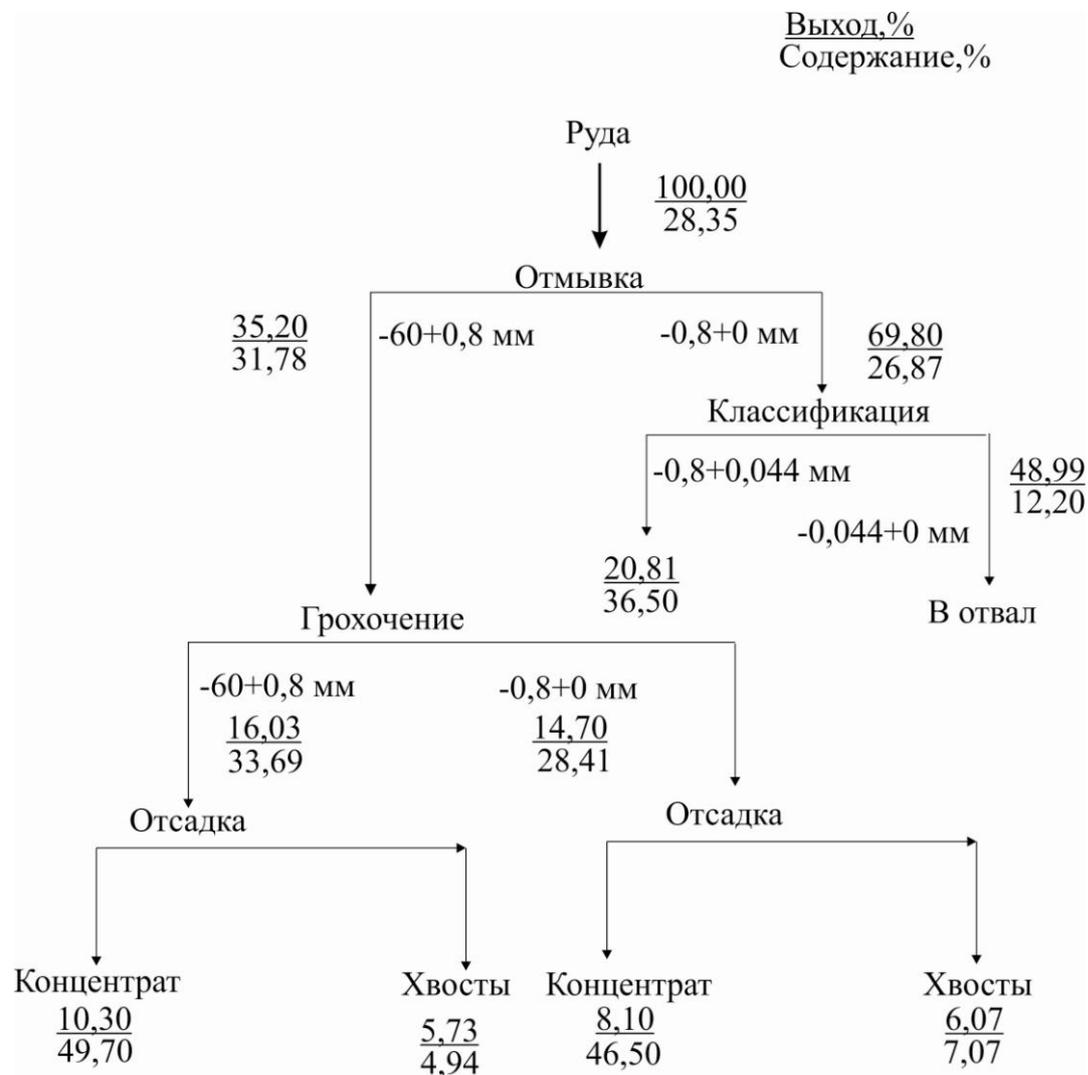


Рисунок 3 – Рекомендуемая схема обогащения окисленной марганцевой руды месторождения “Тур”

Месторождение Жезды (Жездинский район, Карагандинская область). Среднее содержание в рудах, %: марганца - 14,3-39,6, железа - 2,72, кремнезема - 18,24, окиси кальция - 1,34, окиси магния - 0,39, глинозема - 4,69, фосфора - 0,14, серы - 0,096, свинца - 0,125, бария 1-10. Из примесей руды содержат, г/т: таллий - 19, рубидий - 220, цезий - 100, литий - 100. Балансовые запасы руд по категории А+В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> на 01.01.1996 года составляли 7685,8 тыс. т при среднем содержании марганца 19,3%. Месторождение эксплуатируется. Отработка ведется шахтами на юго-

восточном фланге месторождения. До 1964 г. обрабатывались руды с содержанием марганца 27,2%. В настоящее время обработка ведется без разделения сортов с содержанием марганца 16,6%. Добыча в год составляет 100-120 тыс. т руды, разведанными запасами рудник обеспечен на 13-15 лет.

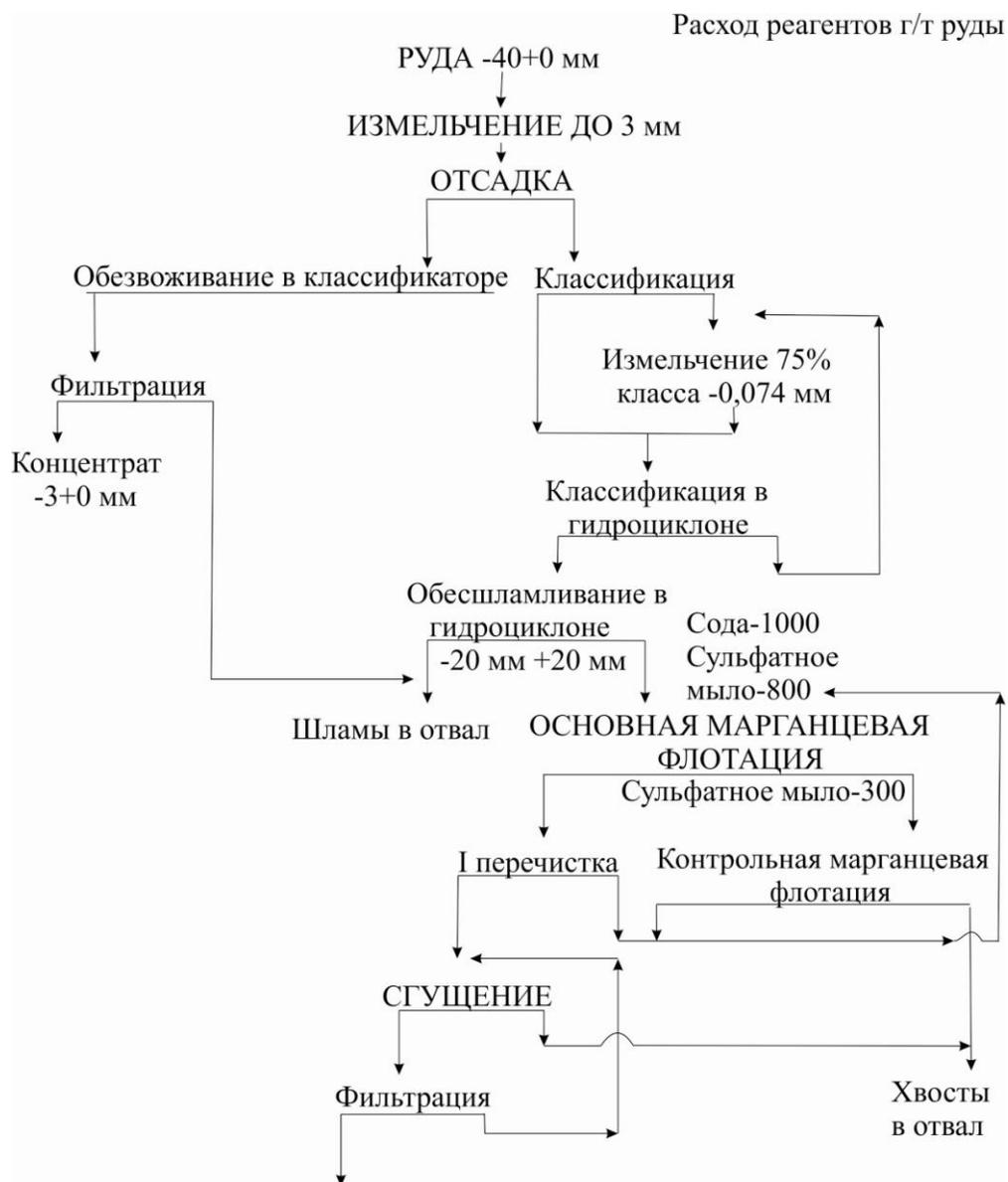


Рисунок 4 – Схема переработки жездинской марганцевой руды на Жездинской обогатительной фабрике

*Месторождение Каражал* (Жанааркинский район, Жезказганская область). Балансовые запасы марганцевых руд - 365 млн. т, забалансовые - 105 млн. т, в том числе по участкам: Западный Каражал - 349471 тыс. т балансовых (среднее содержание марганца 18,4%) и 100625 тыс. т забалансовых руд, Каражал Восточный - 15417 тыс. т балансовых (22% марганца) и 5258 тыс. т забалансовых (7,6% марганца) руд, Каражал Северный - 130 тыс. т при среднем содержании марганца в окисных рудах 37,1%. В среднем по месторождению первичные марганцевые руды

содержат, %: марганца-27,2, железа-4,8, кремнезема - 15,7, фосфора-0,18. В железо-марганцевых рудах, %: марганца - 9, железа - 12,1, кремнезема - 33, фосфора - 0,04. Другие элементы-примеси марганцевых руд - свинец (до 1%, среднее 0,02%), цинк (до 0,5%, среднее 0,004%), медь (до 0,2%, среднее 0,0015%), никель, серебро, золото[5].

*Месторождение Аран* (Жанааркинский район, Жезказганская область). Основные минералы марганцевых руд - браунит, гаусманит, встречаются также гематит, родохрозит, манганокальцит, родонит, яковсит, галенит, сфалерит. Содержание, %: марганца - от 13,28 до 27,98, редко до 45 (среднее 18,71), железа - от 40,18 до 44,37 (среднее 41,97), свинца - от 0,2 до 3,49 (среднее 1,11), цинка - от 0,2 до 3,1 (среднее 2). Запасы: марганца по кат. С2 - 9488 тыс.т, железа - 2570 тыс.т, свинца по кат. С2 - 51 тыс. т, цинка по кат. С2- 92 тыс. т.

*Месторождение Жаксы-Котр* (Улытауский район, Карагандинская область). Запасы марганцевых руд 2758 тыс. т. (по государственному балансу запасов на 01.01.1996 г.) при среднем содержании марганца 18,01%. Общие перспективы месторождения оцениваются в 6-8 млн. т руды. Прирост запасов возможен за счет детальной разведки всех участков месторождения, особенно Центрального. Месторождение находится в разработке. Отработка ведется карьером производительностью 80 тыс. т в год [10].

Разработку месторождений марганца и переработку марганцевых руд осуществляют ряд горнопромышленных предприятий, из которых крупнейшим является Жайремский горно-обогажительный комбинат. Полученная продукция направляется в основном на Аксуский завод ферросплавов и Карагандинский металлургический комбинат, а также на металлургические заводы Урала и Сибири в России. Степень промышленного освоения марганцевых месторождений в Казахстане низкая. Занимая третье место в мире и второе в СНГ по запасам марганцевых руд, Казахстан по их добыче находится на 11 месте в мире.

Руды преимущественно окисные с содержанием марганца от 17 до 24-27 %. Содержание марганца в окисленных рудах (марганцевых шляпах) обычно выше, чем в первичных рудах. В месторождениях атасуйского типа встречаются также окисно-карбонатно-силикатные руды. Осадочные руды Мангышлака окисные и карбонатные [7].

Основная масса балансовых запасов в Казахстане представлена окисными железо-марганцевыми и карбонатно-окисными марганцевыми рудами.

#### **1.4 Техногенные месторождения марганца Казахстана**

К техногенным или забалансовым рудам можно отнести многие месторождения марганца в Казахстане, так как их показатели являются ниже минимально допустимой нормы. Показатели по которым руда определяется

техногенной: низкая стоимость конечного продукта (марганцевого концентрата, металлического марганца), низкое содержание марганца в руде, высоким содержанием вредных примесей (P, S и т.д.), низким соотношением содержания марганца к железу (важный фактор при производстве ферросплавов). К таким месторождениям которые соответствует по каким то вышеизложенным критериям относятся:

- Большой Китай. В настоящее время балансовые руды в контуре карьера выработаны, карьерная добыча прекращена, разрабатываются забалансовые руды из отвалов.
- Туюесай. Большое количество фосфора в руде, марганец для металлургической промышленности не пригоден
- Жомарт. Небольшая мощность рудных тел, значительная мощность прослоев пустых пород между рудными пластами и условия их залегания от горизонтального до вертикального исключает возможность разработки месторождения карьером. Месторождение отнесено к резервным.
- Караадыр. Из-за небольших запасов и крутого залегания рудных тел отработка считается нерентабельной.
- Кишитау. Руды бедные, среднее содержание в них марганца 5,13%.
- Также можно отнести к техногенному сырью хвосты обогатительных фабрик, обладающих запасами исполинского масштаба, которые имеют огромный потенциал.

При развитии технологии раньше считавшиеся забалансными месторождения, сегодня являются перспективными с точки зрения экономики и технологии источниками сырья. Техногенные месторождения можно выгодно перерабатывать используя инновационные методы (новые виды выщелачивания, автоклав, СВЧ обработка и т.д.) или усовершенствовать текущую схему обогащения классическими методами (предварительное обогащение, добавление комбинированных методов обогащения и т.д.).

## **1.5 Обогащение марганецсодержащего сырья**

Обогащение марганецсодержащего сырья проводится с целью повышения

содержания марганца и снижения вредных примесей: железа, фосфора и пр.

Эффективность обогащения зависит от вещественного состава сырья, его текстурно-структурных особенностей, а также от значения марганцевых концентратов. Обогащению могут подвергаться как марганцевые руды, так и отходы горно-обогатительного (хвосты, отсеивы, шламы) и металлургического (шлаки, пыли) производств.

Обогащению подвергаются все природные типы марганцевых руд: оксидные, карбонатные, смешанные, окисленные, желез марганцевые.

Обогатимость марганецсодержащего сырья — это возможная степень извлечения марганца и концентрации минеральных комплексов при обогащении.

Обогатимость определяется для всех технологических разновидностей руд, установленных на месторождении.

Обогатимость марганецсодержащего сырья обусловлена его технологическими свойствами, которые определяются:

- содержанием основных и наиболее важных попутных компонентов: марганца, кремнезема, железа, фосфора, особенностью их распределения по минеральным составляющим;

- минералого-петрографическим составом;

- структурно-текстурными особенностями сырья;

- гранулометрическими характеристиками зерен полезных и породообразующих минералов;

- морфометрическими характеристиками слагающих руду комплексов;

- характером сростаний минералов;

- интенсивностью и характером изменения первичных руд в зоне окисления;

- массой и свойствами вмещающих пород, неизбежно попадающих в руду в процессе ее добычи;

- содержанием компонентов, благоприятствующих технологическому процессу, и вредных примесей, осложняющих этот процесс;

- физическими, механофизическими и химическими свойствами минералов и минеральных комплексов руды, степенью контрастности этих свойств [8].

По степени обогатимости марганцевые руды делятся на легко-, средне-, труднообогатимые и не требующие обогащения (табл. 7).

Богатые руды, содержащие не менее 35% марганца и имеющие соотношение массовых долей марганца и железа менее 7, фосфора и марганца не более 0,0035, используются в мировой практике для производства ферросплавов без обогащения.

Руды, подлежащие обогащению, содержат не менее 10% марганца. К концентратам, полученным из этих руд при помощи обогащения, предъявляются те же требования по соотношению марганца и железа, фосфора и марганца, как и к богатым рудам. Указанные требования являются общими и для богатых железомарганцевых руд (не менее 40% суммарного содержания железа и марганца, не менее 10% марганца), и концентратов из руд, подлежащих обогащению. Такие железомарганцевые руды (концентраты) используются для производства чугуна.

Таблица 4 - Характеристика марганцевых руд по степени обогатимости

Технологические (промышленные) типы руд	Текстурно-структурная характеристика руд	Требования к рудоподготовке, методы обогащения	Извлечение марганца в концентрат, %
Богатые, не требующие обогащения	Массивные	-	-
Легкообогатимые	Кусковые, конкреционно-кусовые и землисто-кусовые	Грохочение, промывка, отсадка или радиометрическая сепарация	80-87
Среднеобогатимые	Плотные, вкрапленные, тонкослоистые	Дробление, гравитационно-магнитные методы	70-75
Труднообогатимые	Конкреционные и конкреционно-кусовые, тонковкрапленные	Дробление, измельчение, гравитационно-магнитные	50-69

Основные требования к разрабатываемым технологиям и режимам для обогащения марганцевых руд заключаются в следующем:

- использование новейших достижений науки и техники в области технологии производства и оборудования, внедрение малоотходных схем переработки, экологически безопасных технологий и оборудования;
- возможность применения крупнокусового обогащения;
- адекватность технологическим свойствам перерабатываемого сырья;
- получение продукции высокого качества, минимальные технологические потери марганца с отходами производства;
- комплексное и рациональное использование ресурсов;
- оптимальная глубина обогащения;
- механизация и автоматизация основных и вспомогательных производственных переделов, автоматизация управления производством;
- безопасные условия труда;
- охрана окружающей среды и утилизация отходов производства.

*Методы обогащения.* Основными методами обогащения марганцевых руд являются: промывка, гравитация, магнитная сепарация, флотация, рентгено-радиометрическая сепарация.

Промывка руды способствует высвобождению рудных образований и кварца от вмещающих и сопутствующих песчано-глинистых пород, а также очищает поверхность этих образований от нерудных примазок, что позволяет получать более качественные продукты в последующих разделительных операциях.

Шламы промывки обычно содержат частицы крупностью менее 100 мкм. Потери марганца со шламами возрастают с увеличением крупности

частиц, а также с ростом содержания сажистых марганцевых минералов в исходной руде.

Гравитационные методы ограничиваются в основном отсадкой, сепарацией в тяжелых средах, концентрацией на столах и реже винтовой сепарацией.

Отсадка является наиболее распространенным, дешевым эффективным гравитационным процессом. Перед отсадкой руд разделяется на классы крупности (например, -50+25, -25+10, -10+4, -4+1 мм), которые обогащаются в отдельных машинах. Такая узкая классификация необходима, поскольку разница плотности марганцевых минералов и пустой породы бывает незначительна.

Сепарация в тяжелых средах применяется для прочных руд на многих зарубежных фабриках, зачастую в сочетании с отсадкой. Тяжелосредная сепарация эффективно разделяет минералы с разницей плотностей от 100 до 400 кг/м<sup>3</sup>. В качестве утяжелителя обычно используется магнетит, регенерация которого усложняет процесс.

Магнитная сепарация мелких классов мытой руды и додробленных промпродуктов крупнокускового цикла обогащения позволяет получать конечные продукты: отвальные хвосты и концентрат. Для сепарации используют валковые электромагнитные сепараторы с магнитным полем высокой напряженности (15000 - 18000 Э) [12]. Немагнитные фракции содержат до 92-98 % не рудных минералов и могут быть использованы как сырье для производства стройматериалов.

Для обогащения сливов (шламов) промывки оксидных и окисленных (пористых, сажистых) руд применяют высокоградиентные сепараторы, позволяющие получить товарные марганцевые продукты.

Неблагоприятными предпосылками для магнитного обогащения является содержание в рудах (окисленных) оксидов и гидроксидов железа, имеющих близкие значения удельной магнитной восприимчивости с минералами марганца. В этом случае магнитную фракцию извлекаются минералы и марганца, и железа, что сужает области применения концентратов магнитной сепарации.

Флотация марганцевых руд на практике не получила широкого распространения, так как флотационные свойства оксид марганца и кварца практически близки, а карбонатные руды перерабатывают в незначительных объемах по сравнению с оксидными. Примером может служить флотационное обогащение шламов оксидных руд в Мексике.

Разработаны флотационные схемы доводки промпродуктов гравитационно-магнитного обогащения марганцевых руд, включающие в себя измельчение, многостадийное обесшламливание и флотацию.

Для обогащения и обесфосфоривания бедных, тонковкрапленных руд, не обогащаемых механическими (физическими) методами, для дообогащения измельченных промпродуктов, доводки и обесфосфоривания концентратов, магнитной сепарации, коллективной и селективной флотации можно

применять химическое обогащение. Из известных химических методов обогащения марганцевых руд, таких как азотнокислый (гаусманитовый), содовый, сульфатный, дитионатный и др. В последнее время получили развитие методы, основанные на выщелачивании с помощью микроорганизмов.

## **1.6 Факторы, определяющие промышленную ценность марганцевых концентратов**

По содержанию марганца, диоксида марганца, кремнезема, влаги, отношению фосфора к марганцу марганцевые концентраты делятся на сорта.

На промышленную ценность марганцевых концентратов оказывают влияние:

- высокое содержание марганца. При плавке повышение массовой доли марганца на 1 % снижает удельный расход электроэнергии на 40-50 кВт ч/т, повышает производительность печей на 1,5 %, снижает себестоимость сплава на 0,37 %;

- отношение суммы основных к сумме кислых компонентов. Это отношение должно быть близко к единице. Повышение основности способствует экономии электроэнергии, снижению расхода кокса, увеличению производительности металлургического оборудования. Повышенное количество кремнезема при низком содержании в концентрате щелочей вызывает необходимость вводить в шихту известь, что приводит к повышенному выводу шлака и увеличению энергозатрат;

- содержание железа. Отношение содержания марганца к железу должно быть не ниже 7. При выплавке ферромарганца концентрация железа возрастает в 2-4 раза (вследствие полного восстановления при плавке), и возникают трудности получения сплавов с требуемым содержанием марганца;

- содержание фосфора. Отношение содержания P и Mn должно быть не более 0,0035. Фосфор в процессе плавки на 75-95 % переходит в ферросплавы, которые далее переносят его в сталь, тем самым значительно снижая ее качество;

- содержание цинка и свинца. Цинк частично переходит в шлак либо улетучивается. Свинец вреден для кладки печей;

- содержание легирующих металлов (Co, Ni, Cr, Ti, Cu, V). Легирующие металлы при плавке полностью восстанавливаются, кроме ванадия, который частично уходит в шлак;

- содержание благородных металлов. Благородные металлы! при плавке переходят в шлак, из которого могут быть извлечены! традиционными методами обогащения;

- гранулометрический состав, кусковатость, твердость. Концентраты для металлургического передела не должны содержать мелкие (< 8 мм) и крупные

(> 25 мм) фракции. Твердые кусковые концентраты более экономичны при транспортировке, не даю больших потерь при сильном дутье в процессе плавки, хорошо выдерживают нагрузку столба шихты в печи;

- пористость. Плотные оксидные концентраты обладают термической стойкостью, сохраняют первичную кусковатость и при высокой температуре печи, в то время как мягкие влагоемки руды в этих условиях распыляются, нарушая газопроницаемость шихты. При повышении пористости концентратов возрастает производительность печей за счет улучшения восстановимости оксидов марганца. Пористость концентрата увеличивает его влагоемкость, в связи с чем возрастают расходы на транспортировку;

- термическая стойкость, спекаемость. Способность марганцевых концентратов сравнительно легко спекаться благоприятствует их агломерации.

Таблица 5 - Основные требования к марганцевым концентратам различного назначения

Продукция	Характеристика марганцевых концентратов						
	Содержание, %					Влажность, %	Гранулометрический состав, мм
	Mn	MnO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	P	S		
Керамика	45-47	70-75	—	0,15	0,03	—	—
Стеклотара	49-50	70	Не огр.	—	—	2	5
Темно-зеленое стекло	50-54	70 -73	То же	—	—	—	5
Эмали	—	80-82	—	—	—	—	Тонкий помол
Красители керамических плит	45	—	10	0,2	0,1-0,3	—	0-25
Гидрохинон, перманганат калия	56,2	89	3	—	—	8	0,1
Химические источники тока	—	87	—	—	—	3	0,1
Зажигательные массы	45	90	7	Не огр.	—	8	0,1
Сварочные флюсы	49-50	—	—	0,18	—	—	20

Нельзя не отметить научно-технический прогресс в развитии металлургических методов и приемов для переработки марганецсодержащего

сырья. Расширяются области применения тех или иных сплавов, совершенствуются и создаются новые технологии и оборудование, увеличивается ассортимент производимых сплавов [14]. Все это приводит к изменению требований к марганцевым концентратам в зависимости от цели их использования. Продукты обогатительного передела, не пригодные ранее для производства сплавов, могут найти свое применение в современных условиях как в металлургии, так и в других отраслях народного хозяйства (табл. 9).

### **1.7 Перспективные направления развития технологии обогащения марганцевых руд**

Требования промышленности к марганцевым концентратам различного назначения, а также анализ потерь ценных компонентов при реализации существующих технических и технологических решений позволяют определить следующие основные пути развития и совершенствования технологии обогащения марганецсодержащего сырья:

- развитие и внедрение в общий комплекс методов технологической оценки марганцевых руд компьютерных методов оптико-геометрического анализа изображения;

- усовершенствование процессов подготовки к обогащению к модернизация соответствующего оборудования с целью уменьшения шламообразования при промывке, дроблении, измельчение и транспортировке, т. е. создание условий, при которых происходит максимальное раскрытие рудных минералов при минимальном их переизмельчении;

- научное обоснование степени обогащения разных типов марганцевых руд как по содержанию марганца, так и по содержанию фосфора;

- научно обоснованное определение оптимальной глубины обогащения марганцевых руд, от которого в конечном итоге зависит рациональность и комплексность использования сырья максимальное извлечение марганца в конечную продукцию и экономическая эффективность полного цикла переработки марганцевых руд от добычи до металлургии;

- создание и внедрение эффективных технологий обогащения шламов (селективная флокуляция, биофлотация и др.);

- поиск новых направлений использования промпродуктов шламов и хвостов обогащения;

- разработка перспективных технологий переработки промпродуктов и шламов обогащения гидрометаллургическими или химическими способами с извлечением всех ценных компонентов, в том числе Ni, Co, P и др.;

– развитие биотехнологических и комбинированных методов для обесфосфоривания и обескремнивания низкосортных марганцевых концентратов [15,16].

– Разработка нового подхода к обогащению марганцевых руд обосновывается тем, что марганец на пути к плавильным печам подстерегают три «беды»: фосфор, сrostки и шламы. Эти проблемы нагляднее всего проявляются в промпродуктовых циклах обогащения марганца, на которые приходится основная нагрузка технологических схем.

## **1.8 Выводы после исследования марганца в литературных источниках**

Марганец, как правило, обогащается гравитационным методом. Это значит, что обогащению подвергаются крупные классы, а мелкие классы остаются в хвостах. Потери марганца с мелким классом может быть колоссальной.

Флотационные методы не подходят для обогащения марганцевых руд, так как минералы марганца обладают схожими характеристиками с нерудными минералами, тем самым флотационное обогащение марганца является неэффективным и на производстве почти не применяется. Возможно использование флотации для доводки промпродуктов гравитационного и магнитного обогащения. Но этот процесс можно считать дорогостоящим.

Хвосты обладают некоторой особенностью, она заключается в том что сырье данного типа уже подвергалось обогащению и классические методы не подойдут для переработки этого вида сырья. Чтобы решить эту проблему можно использовать: более сложную технологическую схему обогащения, которая включала бы многостадийные процессы обогащения или использование комбинированных методов обогащения.

Наиболее подходящими методами обогащения для марганцевых хвостов является гравитационное и магнитное обогащение. Эти методы будут использованы для дальнейших исследований.

## 2 Исследовательская часть

### 2.1 Объект исследований

На исследование поступила проба лежалых марганцевых шламов полученных в результате обогащения марганцевой руды месторождения «Ушкатын-III». Максимальная крупность отдельных кусочков составила 10 мм. Вес пробы составил 500 кг. Схема разделки приведена на рисунке 5.

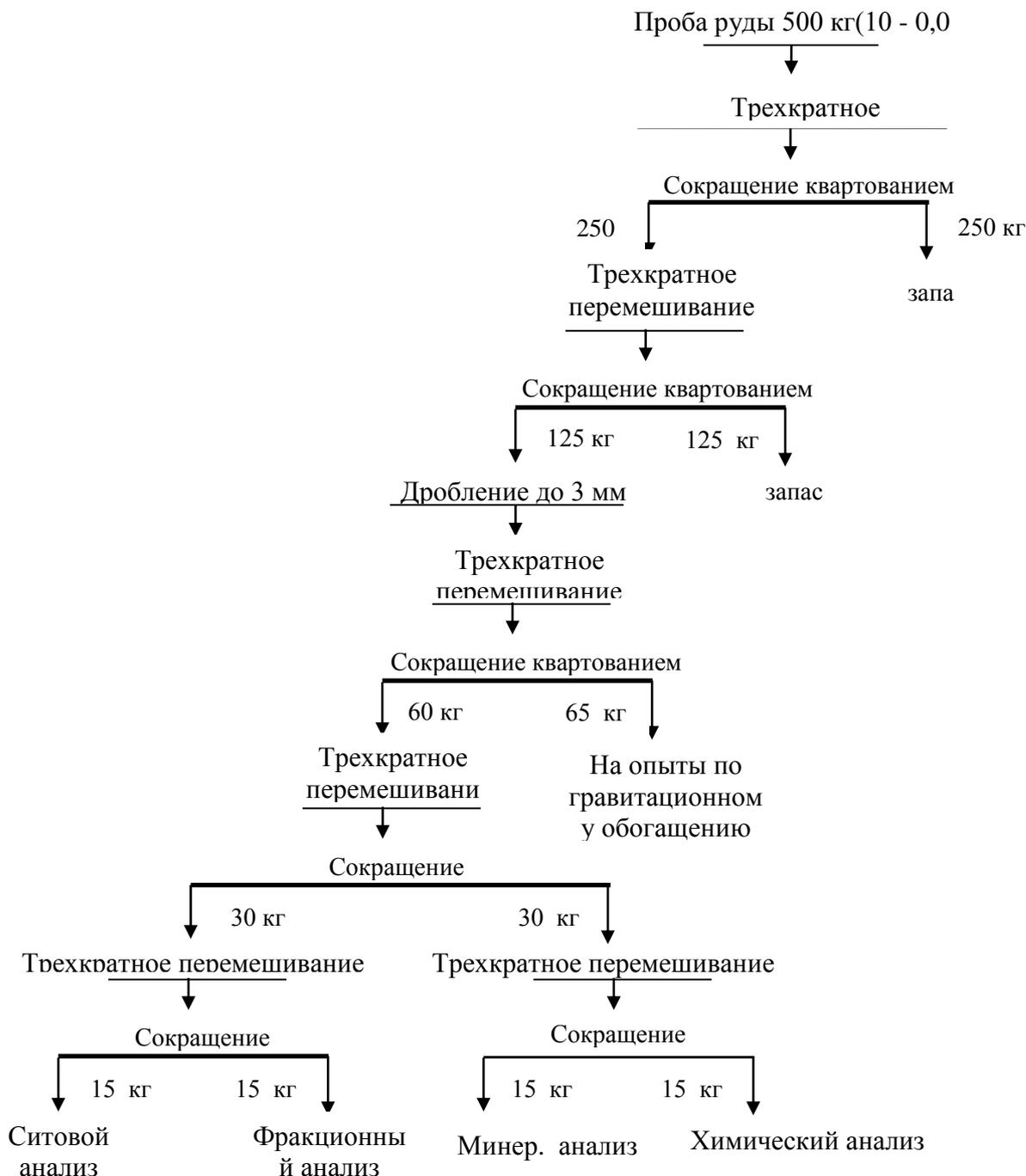


Рисунок 5 – Схема разделки пробы лежалых шламов

## 2.2 Минералогический и химический состав шламов

В процессе работы были исследованы лежалые марганцевые шламы, полученные в результате обогащения марганцевой руды месторождения «Ушкатын-III». Материал предоставлен в виде шести фракций крупности (3,0-1,25 мм, 1,25-0,63 мм, 0,63-0,315 мм, 0,315-0,16 мм, 0,16-0,071 мм и 0,071-0,0 мм). После отмывки от пылевых частиц были изготовлены прессованные аншлифы. Изучение вещественного состава руд проводилось на поляризационном микроскопе Leica DM 2500 M методом изучения аншлифов в отраженном свете, и на бинокулярной лупе с последующим фотографированием.

Для более точной диагностики минералов, составляющих руду, проведен рентгено-дифрактометрический и полуколичественный спектральный анализы, результаты, которых приведены ниже.

Рентгено-дифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с  $Cu_{K\alpha}$  – излучением,  $\beta$ -фильтр. Условия съемки дифрактограмм:  $U=35$  кВ;  $I=20$  мА; съемка  $\theta-2\theta$ ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Возможные примеси, идентификация которых не может быть однозначной из-за малых содержаний и присутствия только 1-2 дифракционных рефлексов, отсутствия данных хим. состава, указаны в таблице 5 и рисунке 6.

Таблица 6 - Межплоскостные расстояния и фазовый состав пробы

$d, \text{Å}$	$I \%$	минерал	$d, \text{Å}$	$I \%$	минерал
7.26223	12.1	каолинит	2.51932	9.7	гематит
4.25836	9.8	кварц	2.48872	15.1	
4.02916	10.4		2.45642	9.6	
3.85033	13.9		2.28037	18.1	
3.67167	10.0		2.08940	16.4	
3.34270	24.2		1.90725	15.7	
3.19207	18.3	полевошпат	1.87155	16.2	
3.02844	100.0	кальцит	1.66020	12.3	
2.71145	27.8	браунит, гематит	1.60112	11.5	
2.60652	8.6	альмандин	1.52210	10.6	

Примечание: все приведенные дифракционные пики принадлежат только указанным выше фазам. Отмечены характерные дифракционные рефлексы, позволяющие провести идентификацию присутствующих фаз.

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа

<b>Минерал</b>	<b>Формула</b>	<b>Концентрация, %</b>
Кальцит	Ca(CO <sub>3</sub> )	45.9
Браунит	(Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> MnSiO <sub>3</sub>	12.6
Кварц	SiO <sub>2</sub>	10.9
Альбит (ПШ)	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	8.2
Каолинит	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	7.6
Доломит	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5.0
Альмандин	Ca <sub>1.5</sub> Fe <sub>1.76</sub> Al <sub>1.80</sub> Si <sub>2.94</sub> O <sub>12</sub>	4.9
Гематит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.8

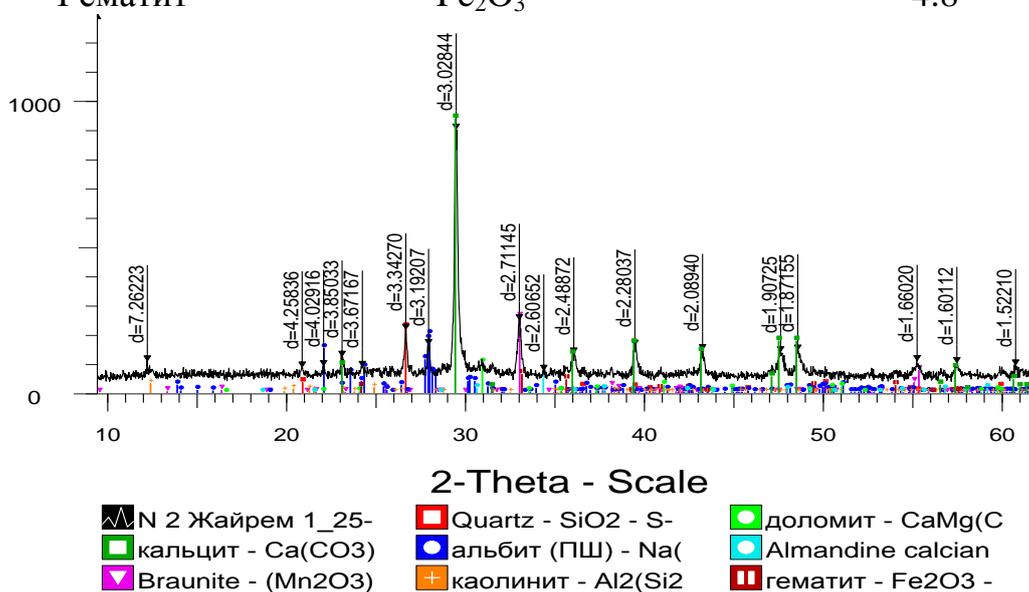


Рисунок 6 – Дифрактограмма пробы

Результаты атомно-эмиссионного полуколичественного спектрального анализа шламов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты атомно-эмиссионного полуколичественного спектрального анализа

Элемент	Концентрация, %	Элемент	Концентрация, %
Au	<0,0002	Ni	0,001
Ag	0,00007	Mo	0,0005
Al	>1,0	V	0,005
Si	>>1,0	Ga	0,001

Продолжение таблицы 7

Элемент	Концентрация, %	Элемент	Концентрация, %
Fe	>>1,0	Ge	<0,0002
K	<1,0	Sr	0,05
Mg	>1,0	Bi	<0,0002
Na	0,5	Nb	0,001
Mn	>>1,0	Cd	0,001
Ti	0,2	Te	<0,002
Ca	>>1,0	Tl	0,001
Cu	0,005	Hg	<0,003
Zn	0,03	Y	<0,001
Sn	0,0003	Yb	<0,0001
Cr	0,005	Be	0,0001
W	<0,002	Ba	0,2
Pb	0,1	Ce	0,005
As	0,01	La	0,007
Sb	0,002	Co	0,001
Sc	0,0005	Zr	0,005
Li	<0,003	In	<0,0005
P	<0,07	Ta	<0,01
Pd	<0,0002	Re	<0,0003
Pt	<0,001	Os	<0,001

Примечание:

Содержание элементов в %:  $10^{-4}\%$ =1г/т;  $10^{-3}\%$ =10г/т;  $10^{-2}\%$ =100г/т)

Cu	Pb	Zn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Sn	Bi	Sb	As	Be
$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-4}$

Au	Ag	Hg	Os	Ge	Sc	W	In	Mn	Fe	Mg
$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^0$	$10^0$

В таблице 8 приведены результаты рентгено-флуорисцентного анализа.

Таблица 8 – Результаты рентгено-флуоресцентного анализа

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
O	46.157	Ca	18.788
Na	0.302	Ti	0.109
Mg	0.906	Mn	14.863

Продолжение таблицы 8

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Al	1.552	Fe	4.497
Si	6.743	Zn	0.066
P	0.020	As	0.029
S	0.212	Sr	0.091
Cl	0.043	Ba	1.205
K	0.371	Pb	0.183

Химический состав исходных шламов приведен в таблице 9.

Таблица 9 –Химический состав шламов(силикатный анализ)

Массовая доля элементов						
Mn	Fe	S <sub>общ</sub>	Pb	Zn	Cu	As
17,42	5,48	0,24	0,19	0,077	0,003	0,018
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Sb	Bi
13,87	2,67	23,02	1,14	0,067	0,002	0,001

### 2.2.1 Минералогическое описание руды

Исследование под бинокулярной лупой показало, что большая часть шламов (около 60 %) составлена нерудными минералами, представленными среднекристаллическим кальцитом белого цвета ~ 40 %, кварцем молочно-белого цвета ~ 10 %, серовато-желтым альбитом ~ 6 %, редкими зернами граната, доломитом, каолинитом, рисунок .



класс 3,0-1,25мм, (10 дел.=1.0мм)



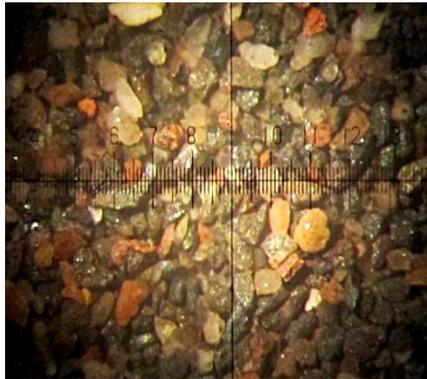
класс 1,25-0,63мм, (10 дел.=0,5мм)



класс 0,63-0,315 мм, (10 дел.=0,5мм)



класс 0,315-0,16мм (10дел=0,25мм)



класс 0,16-0,071мм (10дел=0,25мм)

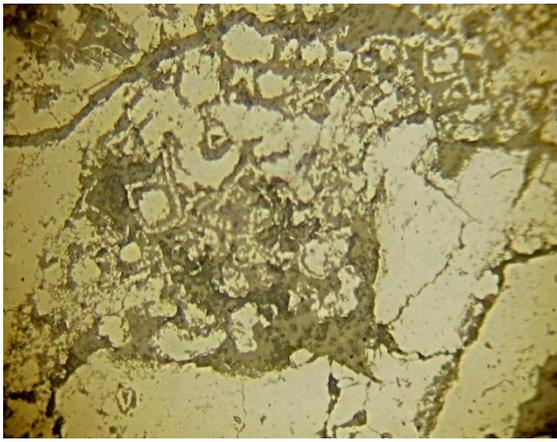
Рисунок 7 – Исходные лежалые шламы; бинокулярная лупа

Исходные марганцевые шламы представлены зернами браунита в сростании с кальцитом, кварцем и другими нерудными минералами, гаусманитом, кальцитом, полевым шпатом, кварцем, железистой яшмой, доломитом, гематитом.

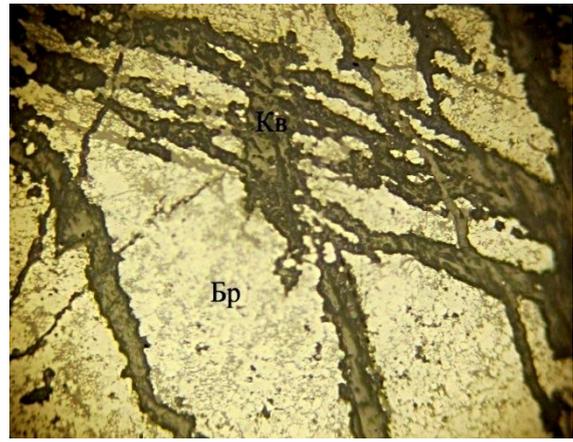
Основным рудным минералом является - браунит (~12 %) и представляет собой зернистый агрегат, серовато-черного цвета, с характерным металлическим или смолянистым блеском, редко наблюдается в виде отдельных зерен и в сростании с кварцем и кальцитом (больше в классах 3,0 - 1,25мм, 1,25 - 0,63 мм.). Наблюдаются редкие зерна гаусманита смоляно-черного цвета, чешуйки гематита и гематитизированного кальцита красновато-коричневого цвета, а также пирит. Встречаемость чистых зерен браунита без сростков, в последующих классах выше.

### 2.2.1.1 Описание аншлифов

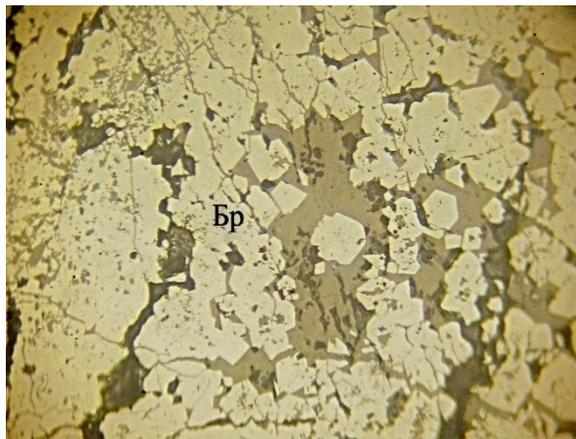
*Аншлиф 1/16 (пресс.), класс 3,0 - 1,25мм*—состоит из зерен нерудных минералов (кальцит, кварц, доломит с включениями тонкозернистого гематита), рисунок 8 а, б, в.



а



б



в

Рисунок 8 – Аншлиф 1/16 (класс 3,0-1,25): а) скелетные метакристаллы и метазерна браунита в кварц-карбонатной массе, ув.160; б) тонкозернистый, аллотриоморфный браунит с многочисленными трещинами кварц-карбонатного состава, ув.160; в) идиоморфные зерна браунита в сростании с кальцитом, ув.160.

Рудные минералы – браунит, гаусманит и различные варианты сростков с нерудными минералами. Ниже приводится описание:

а) зерно браунита размером 2,5 мм, неправильной формы с неровными краями. Браунит замещается кальцитом, образуя скелетную структуру, с размером микрозерен до 0,035 мм, нередко наблюдаются идиоморфные поперечные сечения кристаллов браунита, с реликтовой зональной структурой. Замещение кальцитом около 20 %

б) зерно браунита, с тонкозернистой, аллотриоморфно зернистой структурой, текстура массивная, плотная; по брауниту развивается сеть трещин мощностью от 0,008 до 0,04 мм, выполненных кальцитом. В отраженном свете серовато-белого цвета с коричневым оттенком, со слабо выраженной анизотропией и коричневыми внутренними рефлексами.

в) руда представлена тонкозернистым, аллотриоморфным агрегатом браунита с размером зерен менее 0,0069 мм и идиоморфными, хорошо обраованными кристаллами (в центре аншлифа) размером 0,014-0,056 мм. Наблюдается интенсивное развитие тонких трещин и интерстициальное

выполнение карбонатами и кварцем межзернового пространства.

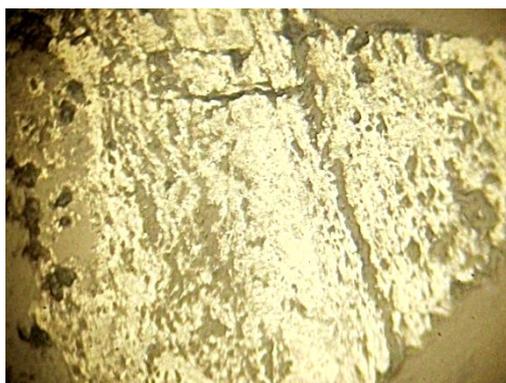
Гаусманит встречается в одном зерне в ассоциации с браунитом, кварцем и полевым шпатом. Наблюдается перекристаллизация браунита в гаусманит, с образованием кристаллобластов. В отраженном свете серовато-белого цвета, заметное двуотражение, характеризуется ярко-красными внутренними рефлексами.

*Аншлиф 2/16 (пресс.), класс 1,25 - 0,63 мм* - минеральный состав и характер срастаний зерен аналогичен выше описанному аншлифу. Руда представлена следующими разновидностями, рисунок 5 а, б, в:

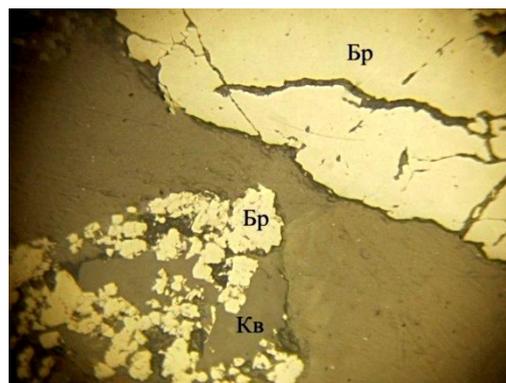
а) зерно тонкополосчатой браунит-гематитовой руды. Чередование прослоев гематита, браунита и с прослоями кремнисто-карбонатного состава. Мощность прослоев от 0,007 до 0,028 мм.

Структура браунита аллотриоморфно зернистая, гематит образует гнездообразные скопления тонкозернистого агрегата между зернами последнего;

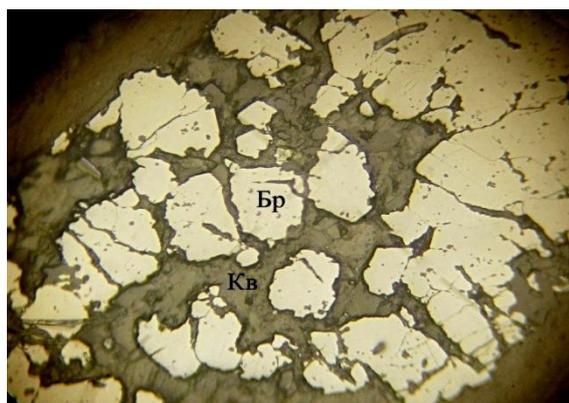
б) на фото два зерна – массивный, плотный браунит с тонкозернистой, аллотриоморфной структурой и сросток гнездообразных скоплений гипидиоморфного браунита, с размером зерен от 0,007 до 0,02 мм в кварце.



а



б



в

Рисунок 9 – Аншлиф 2/16 (пресс.), класс 1,25-0,63 мм: а) зерно тонкополосчатой браунит-гематитовой руды, б) зерна браунита массивной текстуры, тонкозернистый и брекчиевидное срастание агрегата браунита и кварца; в) гнездообразные скопления браунита в кварц-карбонатной массе, ув.160

в) срастание гипидиоморфных (частично ограненных) зерен браунита, размер зерен 0,06 - 0,08 мм, с кварцем и гематитизированным кальцитом с тонкой вкрапленностью гематита, (нерудные минералы характеризуются бледно-красными внутренними рефлексами).

Кроме зерен браунит-кварц-карбонатного состава в аншлифе встречен гаусманит, в срастании с кальцитом и тонкими секущими прожилками гематита.

*Аншлиф 3/16 (пресс.), класс 0,63 - 0,315 мм* – наблюдается тенденция к уменьшению количества сростков рудных минералов с кварцем и карбонатами, браунит и гаусманит встречаются чаще в виде отдельных мономинеральных агрегатов (рисунок б а, б, в)

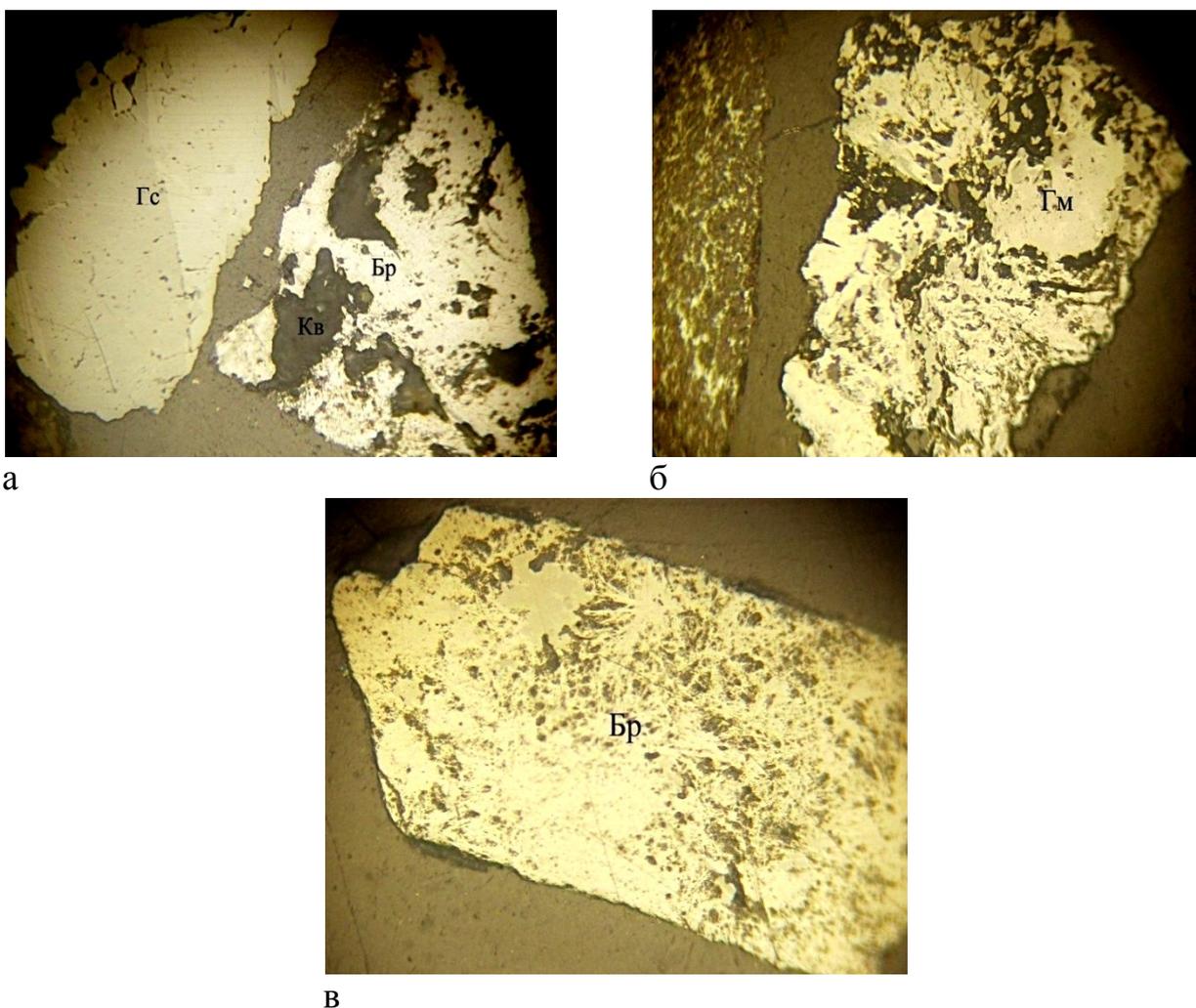


Рисунок 10 – Аншлиф 3/16 (пресс), класс 0,63-0,315 мм: а) зерно гаусманита (в левой части ) и браунита с включениями кварца; б) тонкочешуйчатый гематит; в) тонкопетельчатые образования браунита, ув.160

а) зерно гаусманита (в левом углу аншлифа), с зазубренными краями, светло-серого цвета в отраженном свете, отчетливое двуотражение, ярко-красные внутренние рефлексы. В скрещенных николях наблюдается

перекристаллизация сдвойникового гаусманита в тонкозернистый агрегат.

В правой части аншлифа угловатый обломок браунита с включениями кварца, структура браунита мелкозернистая, аллотриоморфная.

б) катаклазированный, тонко-чешуйчатый гематит (в центре), белого цвета (в отраженном свете), с красными внутренними рефлексами с включениями карбонатов и кварца; зерно доломита удлиненной формы (в левой части аншлифа) с тонкими петельчатообразными прожилками гематита.

в) зерно представлено агрегатом браунита с тонкозернистой, ажурно-петельчатой структурой в сростании с кальцитом. Размер зерен менее 0,04 мм. Кое-где наблюдается перекристаллизация браунита в гаусманит, в скрещенных николях видны красные внутренние рефлексы и спутанно-волоконистая структура минерала.

*Аншлиф 4/16 (пресс), класс 0,315 - 0,16мм* – рудные минералы составляют около 15-20 % (от площади аншлифа), встречаемость «чистых» зерен браунита (без сростаний с нерудными минералами) на порядок выше, чем первых двух классах. Кроме браунита из рудных минералов наблюдается гаусманит, гематит. Нерудные – кальцит, пронизанный тонкой вкрапленностью гематита, редко кварц, два зерна альмандина (в скрещенных николях с темно-коричневыми внутренними рефлексами и неровной шероховатой поверхностью) и др. (рисунок 7 а, б, в);

а) зерно удлиненной формы, тонкополосчатой текстуры, представлено чередованием прослоев гематита и браунита, мощностью 0,006 до 0,014 мм, светло-серого цвета, слабо анизотропный с ярко-красными внутренними рефлексами. Зерно в нижней части рисунка – ангедральный гаусманит в сростании кальцитом (серое), с отчетливо выраженным двуотражением и красными внутренними рефлексами; правее – браунит в сростании с кварцем или полевым шпатом;

б) три зерна браунита - правое внизу практически без сростков, текстура массивная, структура тонкозернистая, аллотриоморфная; вверху рисунка - браунит трещиноватый, с выполнением трещин кварцем и карбонатами, размер зерен 0,016-0,02 мм;

в) тонкозернистый аллоириоморфный браунит массивной текстуры, серого цвета в отраженном свете, слабо анизотропный; внизу зерно тонкозернистого гематита.

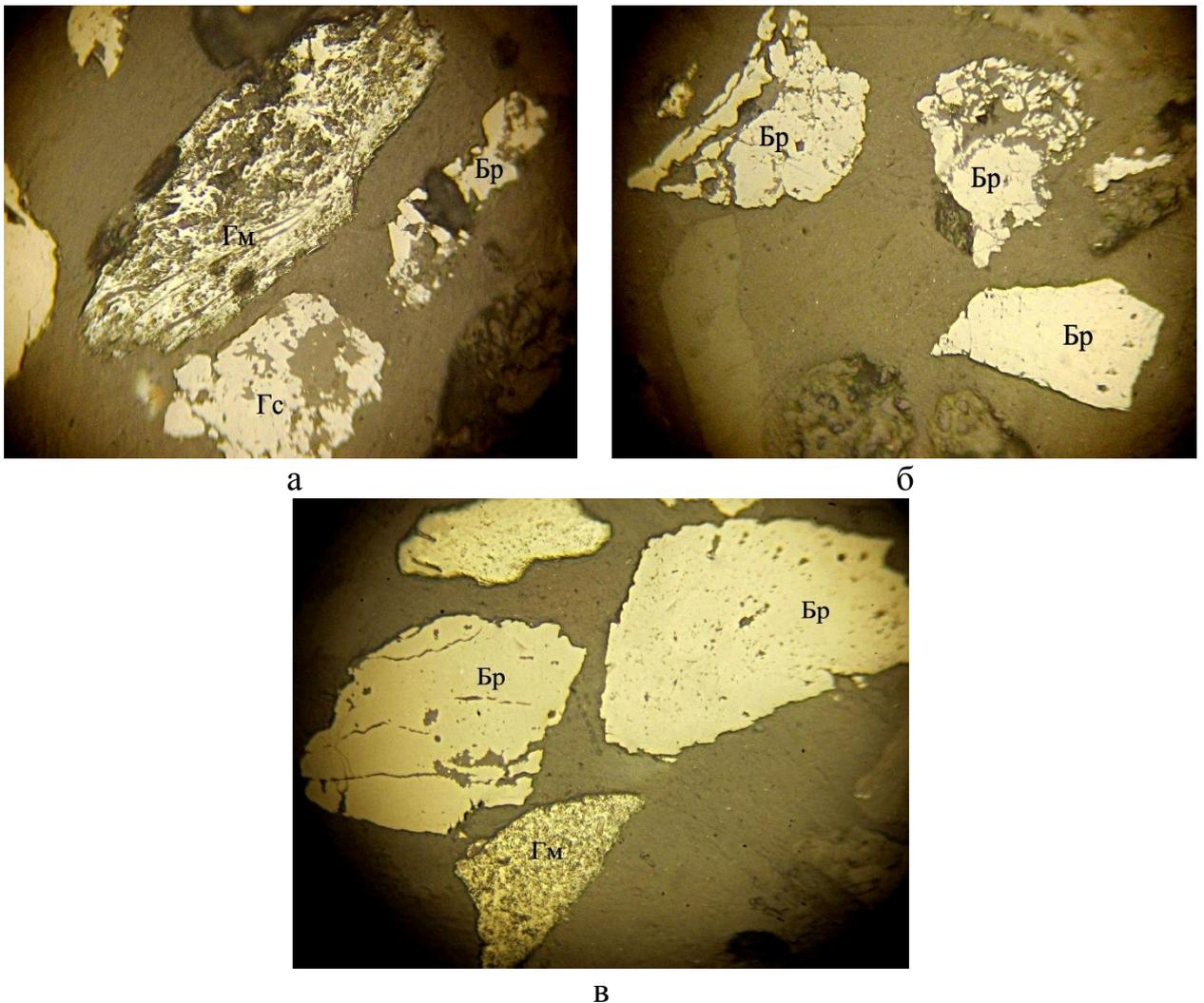
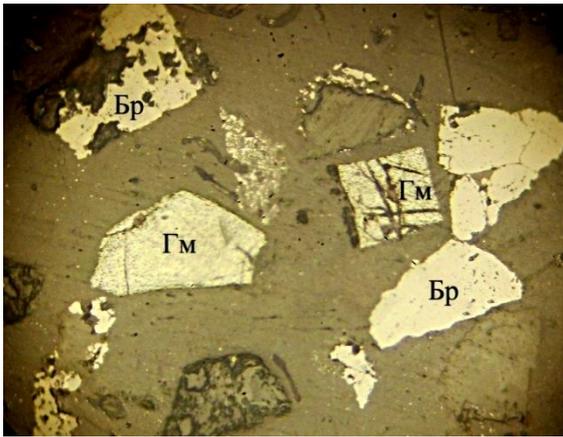


Рисунок 11 – Аншлиф 4/16 (пресс), класс 0,315-0,16мм: а) зерна гаусманита, браунита и тонкополосчатого гематита; б) трещиноватый браунит в срastании с нерудными минералами (вверху рисунка); в) аллотриоморфный с массивной текстурой браунит и тонкозернистый гематит (внизу рисунка) в срastании с нерудным материалом, ув.160.

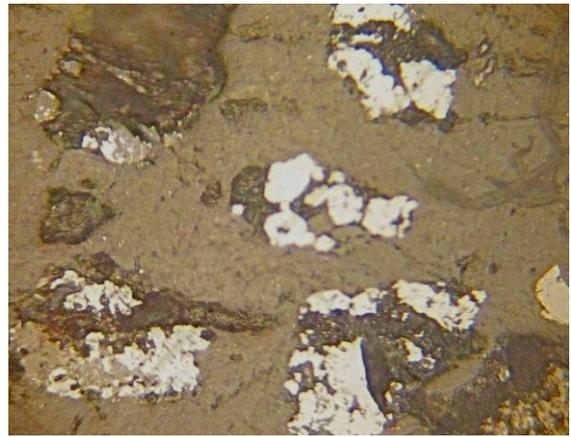
*Аншлиф 5/16, (пресс.), класс 0,16 - 0,071 мм – шламы (руда) этого класса идентична выше описанной, как по минералогическому составу, так и по характеру срastаний, и процентному соотношению рудных и нерудных минералов (рисунок 11 а, б)*

а) два зерна браунита остроугольной формы (в левой части рисунка) практически мономинеральные, с массивной текстурой, аллотриоморфно зернистые; гематит (два зерна) квадратной и неправильной формы слабо трещиноватый, тонкочешуйчатый с характерными ярко-красными внутренними рефлексами; браунит в срastании с полевым шпатом.

б) несколько зерен неправильной формы представлены гнездообразными включениями браунита и гематита в кремнисто-карбонатной массе.



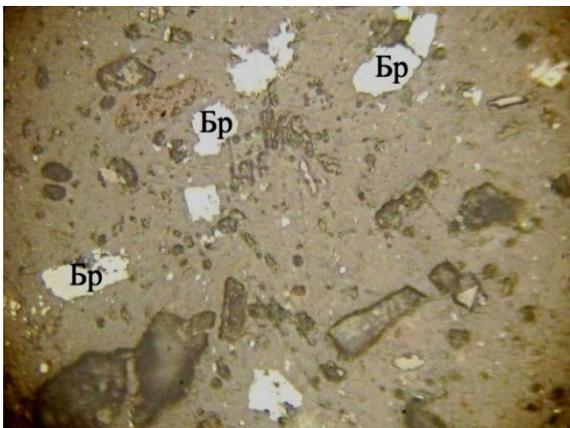
а



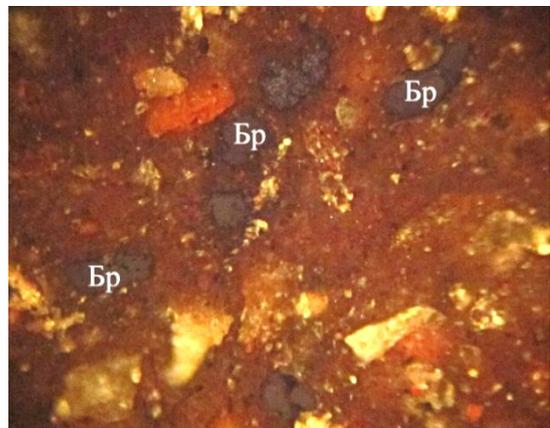
б

Рисунок 12 – Аншлиф 5/16 (пресс), класс 0,16-0,017 мм: а) мономинеральные и в сростании с кварцем и карбонатами зерна браунита и гематита; б) гнездообразные скопления браунита и гематита в кремнисто-карбонатной массе, ув.160

Аншлиф 6/16 (пресс), класс 0,071 - 0,0 мм - представлен аморфной бесструктурной массой (рисунок 12 а) с редкими (около 3 %) включениями рудных минералов, предположительно браунита (диагностика затруднительна), размер зерен 0,05-0,007 мм. В скрещенных никелях (рисунок 9 б) аморфная масса коричнево-красного цвета, видимо за счет пылевидных включений гематита, светлые зерна кальцит, кварц, полевои шпат.



а



б

Рисунок 13– аншлиф 6/16, класс 0,071-0,0 мм: а) аморфно бесструктурная нерудная масса с редкими включениями рудных минералов (браунита и др.); б) то же в скрещенных николях, ув. 160.

### 2.2.1.2 Выводы минералогического состава марганцевых шламов

На основании результатов исследований по изучению минералогического состава марганцевой шламов, можно сделать выводы:

1. Минеральный состав шламов представлен следующими минералами: основным рудным минералом является браунит ~12 %, наблюдается как в виде отдельных зерен, так и в сростании с кварцем и кальцитом. Встречается гематит, редкие зерна гаусманита. Нерудные минералы составляют около 60 %. Это кальцит ~ 40 %, кварц ~ 10 %, альбит ~ 6 %, редкими зернами граната, доломита, каолинита.

2. В первых двух классах (3,0-1,25 мм, 1,25-0,63 мм) большая часть браунита встречается в виде агрегативных зерен в сростании с кварцем и карбонатами. В последующих классах наблюдается тенденция к уменьшению количества сростков, а браунит и гаусманит чаще встречаются в виде отдельных мономинеральных агрегатов.

## 2.3 Гранулометрический состав шламов

### 2.3.1 Гранулометрический состав шламов, исходной крупности

Гранулометрический состав и распределение содержания марганца и железа по классам крупности, в исходных шламах, поступившей крупности, приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Гранулометрический состав исходных марганцевых шламов

Классы крупности, мм	Выход, %		Содержание, %		Извлечение, %	
	частный	суммарный по (+)	Mn	Fe	Mn	Fe
– 40 + 10	1,50	1,50	11,39	1,12	0,97	0,33
– 10 + 5	2,39	3,89	11,48	1,61	1,56	0,75
– 5 + 2,5	5,12	9,01	14,25	2,54	4,14	2,54
– 3 + 1,25	22,70	31,71	16,88	3,98	21,77	17,70
– 1,25 + 0,63	26,61	58,32	18,20	5,65	27,53	29,47
– 0,63 + 0,315	15,97	74,29	18,13	5,77	16,46	18,06
– 0,315 + 0,16	12,26	86,55	19,38	6,83	13,51	16,41
– 0,16 + 0,071	5,67	92,22	21,66	7,48	6,98	8,31
– 0,071 + 0,0	7,78	100,0	16,0	4,22	7,08	6,43
Итого	100,0	-	<b>17,59</b>	<b>5,10</b>	100,0	100,0

### 2.3.2 Гранулометрический состав шламов додробленных до крупности 2,5(3) мм

Гранулометрический состав и распределение содержания марганца и железа по классам крупности, в исходной руде, додробленных до крупности 3 мм, приведен в таблице 11.

Таблица 11– Гранулометрический состав исходных марганцевых шламов додробленных до 2,5(3) мм

Классы крупности, мм	Выход, %		Содержание, %		Извлечение, %	
	частный	суммарный по (+)	Mn	Fe	Mn	Fe
– 3 + 1,25	26,40	26,40	17,41	4,06	25,18	20,25
– 1,25 + 0,63	29,72	56,12	18,03	5,10	29,35	28,64
– 0,63 + 0,315	17,84	73,96	18,66	6,36	18,24	21,44
– 0,315 + 0,16	12,68	86,64	20,0	6,71	13,90	16,07
– 0,16 + 0,071	5,49	92,13	20,72	6,69	6,23	6,94
– 0,071 + 0,0	7,87	100,0	16,46	4,48	7,10	6,66
Итого	100,0	-	<b>18,25</b>	<b>5,29</b>	100,0	100,0

Гранулометрический состав класса крупностью менее 0,071 мм с распределением марганца и железа по классам крупности, был определен седиментационным анализом, результаты которого приведены в таблице 12.

Таблица 12– Гранулометрический состав класса крупностью 0,071 – 0,0 мм

Классы крупности, мкм	Выход, %		Содержание, %		Извлечение, %	
	частный	суммарный	Mn	Fe	Mn	Fe
71 – 40	34,9	34,9	22,89	6,86	49,98	47,50
40 – 30	6,97	41,87	13,62	3,81	5,94	5,27
30 – 20	11,85	53,72	15,21	3,73	11,28	8,77
20 – 10	14,12	67,84	13,49	3,58	11,92	10,03
10 – 5	18,57	86,41	10,94	3,61	12,71	13,30
5 – 0	13,59	100,0	9,61	5,61	8,17	15,13
Итого	100,0	-	<b>15,98</b>	<b>5,04</b>	100,0	100,0

Полная гранулометрическая характеристика марганцевых шламов после додображивания до 2,5(3) мм, приведена в таблице 8.

Таблица 13 – Гранулометрический состав марганцевых шламов

Классы крупности, мм	Выход, %		Содержание, %		Извлечение, %	
	частный	суммарный по (+)	Mn	Fe	Mn	Fe
– 3 + 1,25	26,40	26,4	17,41	4,06	25,24	20,08
– 1,25 + 0,63	29,72	56,12	18,03	5,10	29,42	28,39
– 0,63 + 0,315	17,84	73,96	18,66	6,36	18,28	21,26
– 0,315 + 0,16	12,68	86,64	20,00	6,71	13,92	15,94
– 0,16 + 0,071	5,49	92,13	20,72	6,69	6,24	6,89
–0,071 + 0,040	2,75	94,88	22,89	6,86	3,45	3,54
–0,040 +0,030	0,55	95,43	13,62	3,81	0,41	0,40
–0,030 + 0,020	0,93	96,36	15,21	3,73	0,78	0,65
–0,020 + 0,010	1,11	97,47	13,49	3,58	0,82	0,74
–0,010 + 0,005	1,46	98,93	10,94	3,61	0,88	0,99
–0,005 + 0,0	1,07	100,0	9,61	5,61	0,56	1,12
Итого	100,0	-	<b>18,22</b>	<b>5,34</b>	100,0	100,0

Средневзвешенное содержание марганца и железа по результатам изучения гранулометрического состава составило 18,22 % и 5,34 % соответственно.

## 2.4 Фракционный состав шламов

Исследование фракционного состава осуществлялось путем выполнения фракционного анализа.

### 2.4.1 Фракционный анализ классов крупностью 2,5 – 0,63 мм, 0,63 – 0,071 мм и 0,071 – 0,0 мм

Фракционный состав марганцевых шламов и распределение содержания марганца и железа по фракциям плотности в машинных классах крупности приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Фракционный состав и распределение марганца и железа по фракциям плотности в машинных классах крупности

Фракции плотности, кг/м <sup>3</sup>	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от руды, %		Извлечение от класса, %		Класс крупности
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
-2850	53,37	29,95	2,15	0,70	3,63	3,94	6,70	7,94	3-0,63 мм
+2850-3000	6,60	3,70	14,91	3,35	3,10	2,33	5,74	4,69	
+3000-3450	10,72	6,02	28,75	4,08	9,73	4,62	18,00	9,30	
<b>+3450</b>	<b>29,31</b>	<b>16,45</b>	<b>40,63</b>	<b>12,52</b>	<b>37,59</b>	<b>38,70</b>	<b>69,56</b>	<b>78,07</b>	
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>56,12</b>	<b>17,12</b>	<b>4,70</b>	<b>54,05</b>	<b>49,59</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	
-2850	47,65	17,16	2,74	0,86	2,64	2,77	6,84	6,32	0,63-0,071 мм
+2850-3000	5,54	1,99	15,79	3,35	1,77	1,25	4,59	2,86	
+3000-3450	10,47	3,77	25,22	3,94	5,35	2,79	13,83	6,37	
<b>+3450</b>	<b>36,34</b>	<b>13,09</b>	<b>39,28</b>	<b>15,06</b>	<b>28,92</b>	<b>37,05</b>	<b>74,74</b>	<b>84,45</b>	
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>36,01</b>	<b>19,10</b>	<b>6,48</b>	<b>38,68</b>	<b>43,86</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	
-3000	56,19	4,42	8,28	2,73	2,06	2,26	28,33	34,63	0,071-0,0 мм
+3000	43,81	3,45	26,88	6,61	5,22	4,29	71,67	65,37	
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>7,87</b>	<b>16,43</b>	<b>4,43</b>	<b>7,27</b>	<b>6,55</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	
<b>Руда</b>	<b>-</b>	<b>100,0</b>	<b>17,78</b>	<b>5,32</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>3-0,0 мм</b>

Теоретически возможные, технологические показатели, получаемые при разделении машинных классов приведены в таблицах 15 – 17.

Таблица 15 – Теоретически возможные технологические показатели, получаемые при разделении машинных классов по плотности 3450 кг/м<sup>3</sup>

Наименование продукта	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %	
		Mn	Fe	Mn	Fe
Фракция + 3450 кг/м <sup>3</sup> класс 3–0,63 мм	16,45	40,63	12,52	37,59	38,70
Фракция + 3450 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	13,09	39,28	15,06	28,92	37,05
<b>Итого фракция + 3450 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>29,54</b>	<b>40,03</b>	<b>13,65</b>	<b>66,51</b>	<b>75,75</b>
Фракция - 3450 кг/м <sup>3</sup> класс 3–0,63 мм	39,67	7,38	1,46	16,46	10,89
Фракция - 3450 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	22,92	7,57	1,58	9,76	6,81
<b>Итого фракции- 3450 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>62,59</b>	<b>7,45</b>	<b>1,51</b>	<b>26,22</b>	<b>17,70</b>
<b>Руда</b>	<b>-</b>	<b>17,78</b>	<b>5,32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Таблица 16 – Теоретически возможные технологические показатели, получаемые при разделении машинных классов по плотности 3000 кг/м<sup>3</sup>

Наименование продукта	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %	
		Mn	Fe	Mn	Fe
Фракция + 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 3–0,63 мм	22,47	37,45	10,26	47,32	43,32
Фракция + 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	16,86	36,14	12,57	34,27	39,84
<b>Итого фракция + 3000 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>39,33</b>	<b>36,89</b>	<b>11,25</b>	<b>81,59</b>	<b>83,16</b>
Фракция - 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 3 – 0,63 мм	33,65	3,55	0,99	6,73	6,27
Фракция - 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	19,15	4,10	1,12	4,41	4,02
<b>Итого фракция - 3000 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>52,80</b>	<b>3,75</b>	<b>1,04</b>	<b>11,14</b>	<b>10,29</b>
<b>Руда</b>	-	<b>17,78</b>	<b>5,32</b>	-	-

Таблица 17 – Теоретически возможные технологические показатели, получаемые при разделении машинных классов по плотности 2850 кг/м<sup>3</sup>

Наименование продукта	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %	
		Mn	Fe	Mn	Fe
Фракция + 2850 кг/м <sup>3</sup> класс 3–0,63 мм	26,17	34,26	9,28	50,42	45,65
Фракция + 2850 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	18,85	33,99	11,60	36,04	41,09
<b>Итого фракция + 2850 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>45,02</b>	<b>34,15</b>	<b>10,25</b>	<b>86,46</b>	<b>86,74</b>
Фракция -2850 кг/м <sup>3</sup> класс 3 – 0,63 мм	29,95	2,15	0,70	3,63	3,94
Фракция -2850 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	17,16	2,74	0,86	2,64	2,77
<b>Итого фракция - 2850 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>47,11</b>	<b>2,36</b>	<b>0,76</b>	<b>6,27</b>	<b>6,71</b>
<b>Руда</b>	-	<b>17,78</b>	<b>5,32</b>	-	-

## 2.5 Гравитационное обогащение марганцевых шламов

Обогащение марганцевых шламов крупностью 2,5(3) – 0,071 мм осуществлялось с использованием процесса отсадки. При выполнении опытов соблюдалась последовательность операций отсадки согласно условиям обогащения машинных классов в двухкамерной отсадочной машине.

## 2.5.1 Отсадка класса крупностью 3 – 0,071 мм

Результаты отсадки класса крупностью 2,5 (3) - 0,071 мм, приведены в таблицах 18-20, а схема отсадки на рисунке 14.

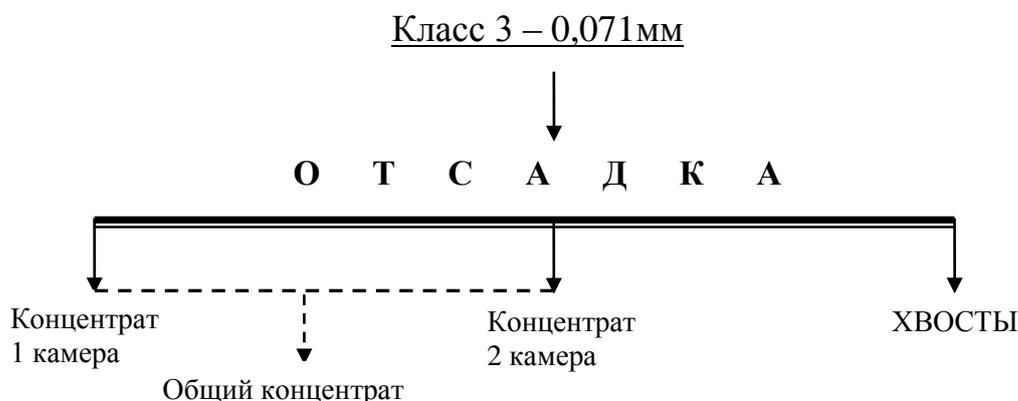


Рисунок 14 – Схема отсадки класса 3 - 0,071 мм

Таблица 18 – Результаты отсадки класса 3 - 0,071 мм(вариант 1)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %	
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe
Концентрат 1 камера	37,12	34,20	27,09	8,70	57,33	61,28	53,07	57,12
Концентрат 2 камера	21,99	20,26	22,49	5,22	28,20	21,78	26,11	20,31
<b>Общий концентрат</b>	<b>59,11</b>	<b>54,46</b>	<b>25,38</b>	<b>7,41</b>	<b>85,53</b>	<b>83,06</b>	<b>79,18</b>	<b>77,43</b>
Хвосты	40,89	37,67	6,21	2,18	14,47	16,94	13,40	15,79
Итого	100,0	92,13	<b>17,54</b>	<b>5,27</b>	100,0	100,0	92,58	93,22
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,42	6,78
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,46</b>	<b>5,21</b>	-	-	100,0	100,0

*Примечание:* отсадка шлама 3 – 0,071 мм на отсадочной машине типа мод (постель 10-8 мм, постель - 1 камера и 2 камера зерна барита, высота постели 40 мм, амплитуда колебаний 8 мм, частота 390 кол/мин, расход воды 2 м<sup>3</sup>/т, удельная производительность 6 т/ч·м<sup>2</sup>)

По результатам обогащения, при данных параметрах приведенных в варианте 1 получается большой выход концентрата и невысокое содержание марганца, что свидетельствует о том, что бедные фракции классов мельче 0,63 мм просачиваются под решето отсадочной машины и загрязняют концентрат. Результаты отсадки с более мелкой постелью крупностью 8 - 5 мм приведены в таблице 19, вариант 2.

Таблица 19 – Результаты отсадки класса 3 - 0,071 мм (вариант 2)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %	
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe
Концентрат 1 камера	12,77	11,77	35,79	19,43	26,15	40,35	24,22	38,00
Концентрат 2 камера	25,78	23,75	28,19	8,45	41,58	35,42	38,48	33,34
<b>Общий концентрат</b>	<b>38,55</b>	<b>35,52</b>	<b>30,71</b>	<b>12,09</b>	<b>67,73</b>	<b>75,77</b>	<b>62,70</b>	<b>71,34</b>
Хвосты	61,45	56,61	9,18	2,42	32,27	24,23	29,86	22,80
Итого	100,0	92,13	<b>17,48</b>	<b>6,15</b>	100,0	100,0	92,56	94,14
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,44	5,86
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,40</b>	<b>6,02</b>	-	-	100,0	100,0

*Примечание:* отсадка шлама 3 – 0,071 мм на отсадочной машине типа мод (постель 8-5 мм 1 камера и 2 камера зерна барита, высота постели 40 мм, амплитуда колебаний 8 мм, частота 390 кол/мин, расход воды 2 м<sup>3</sup>/т, удельная производительность 6 т/ч·м<sup>2</sup>)

Полученные результаты показывают снижение выхода концентрата, однако содержание марганца не достигает требуемых 38 %. Для повышения качества концентрата, постель из зерен барита была заменена на богатые зерна браунита. Результаты отсадки приведены в таблице 20, вариант 3.

Таблица 20 – Результаты отсадки класса 3 - 0,071 мм(вариант 3)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %	
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe
Концентрат 1 камера	16,77	15,45	35,86	16,32	34,52	50,96	31,94	47,57
Концентрат 2 камера	13,37	12,32	34,39	7,53	26,40	18,75	24,43	17,51
<b>Общий концентрат</b>	<b>24,52</b>	<b>13,76</b>	<b>38,34</b>	<b>13,80</b>	<b>58,68</b>	<b>76,70</b>	<b>30,46</b>	<b>34,81</b>
Хвосты	75,48	42,36	8,77	1,36	41,32	23,30	21,45	10,57
Класс 3-0,63 мм	100,0	56,12	16,02	4,41	100,0	100,0	51,91	45,38
Класс 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	-	-	40,61	48,16
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,48	6,46
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,31</b>	<b>5,45</b>	-	-	100,0	100,0

*Примечание:* отсадка шлама 3 – 0,071 мм на отсадочной машине типа мод, постель 8- 5 мм из зерен браунита, высота постели 40 - 50 мм,

амплитуда колебаний 6мм, частота 270 кол/мин, расход воды 3 м<sup>3</sup>/т, удельная производительность 6 т/ч·м<sup>2</sup>).

Из выполненных опытов по отсадке класса крупностью 3 – 0,071 мм видно, что концентрат с содержанием марганца 38 %, и более получить не удалось

С целью выяснения причины низкого содержания марганца в концентрате отсадки варианта 3, на полученном концентрате был выполнен ситовой анализ по классу 0,63 мм, таблица 21.

Таблица 21 – Ситовой состав концентрата отсадки по 3 варианту

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Mn, %	
	концентрата	руды	Mn	Fe
Класс 3 – 0,63 мм	36,91	10,25	38,8	12,25
Класс 0,63 – 0,071 мм	63,09	17,52	33,11	12,52
<b>Общий концентрат</b>	100,0	<b>27,77</b>	<b>35,21</b>	<b>12,42</b>

Полученные результаты показывают:

- в марганцевом концентрате в значительном количестве присутствует тонкий класс крупностью 0,63 – 0,071 мм, в котором содержание марганца низкое и равно 33,11 %;
- при отсадке широкого по крупности класса 3 – 0,071 мм, тяжелые фракции класса 3 – 0,63 мм плотностью более 3450 кг/м<sup>3</sup> полностью не выделяются в концентрат из-за наличия значительного количества мелких бедных зерен крупностью 0,63 – 0,071 мм, которые при амплитуде колебаний 8 – 10 мм, быстрее выделяются в подрешетный продукт, существенно увеличивая выход концентрата за счет бедных тонких классов;
- идет сильный просос бедных фракций класса крупностью 0,63–0,071 мм;
- полученные результаты исследований показывают о необходимости уменьшения шкалы классификации перед отсадкой, согласно условия равнопадаемости зерен. Обогащение широко классифицированного класса 3- 0,071 мм, из-за большого количества в нем тонкого класса крупностью 0,63 – 0,071 мм не целесообразно;
- дальнейшие исследования по гравитационному обогащению марганцевых шламов выполнялись на двух машинных классах крупностью 3 – 0,63 мм и 0,63 – 0,071 мм.

### 2.5.2 Отсадка класса крупностью 3 – 0,63 мм

Отсадка класса 3 – 0,63 мм выполнялась при следующих параметрах:

1. Постоянные параметры – время 1 мин 10 сек, что соответствует  $q = 6 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$ , постель из богатых марганцевых зерен крупностью 10-8 мм высота 30 - 40 мм; 2. Переменные параметры – частота пульсаций, амплитуда колебаний.

Результаты отсадки класса крупностью 2,5 (3) - 0,071 мм, приведены в таблицах 22- 25, а схема отсадки на рисунке 15.

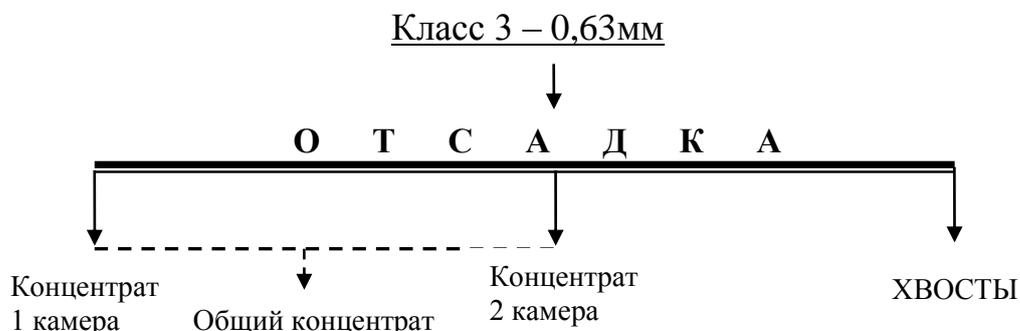


Рисунок 15 – Схема отсадки класса 3 - 0,63 мм

Таблица 22 – Результаты отсадки класса 3 – 0,63 мм(вариант 1)

Наименование продукта	Выход, %		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
	клас-са	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
Концентрат 1 камера	10,48	5,88	37,25	15,44	24,33	36,62	12,65	16,64	2,4
Концентрат 2 камера	7,86	4,41	40,63	15,16	19,91	26,97	10,34	12,24	2,7
<b>Общий концентрат</b>	<b>18,34</b>	<b>10,29</b>	<b>38,70</b>	<b>15,32</b>	<b>44,24</b>	<b>63,59</b>	<b>22,99</b>	<b>28,88</b>	<b>2,5</b>
Хвосты	81,66	45,83	10,96	1,97	55,76	36,41	28,98	16,56	-
Класс 3-0,63 мм	100,0	56,12	16,05	4,42	100,0	100,0	51,97	45,44	-
Класс 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	-	-	40,56	48,09	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,47	6,47	-
<b>Руда</b>	-	<b>100,0</b>	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	-	-	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	-

*Примечание:* класс 3-0,63 мм, частота 270 кол/мин, амплитуда 6 мм.

Таблица 23 – Результаты отсадки класса 3 - 0,63 мм(вариант 2)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
Концентрат 1 камера	11,52	6,47	38,22	16,54	27,38	42,91	14,26	19,56	2,3
Концентрат 2 камера	9,03	5,07	40,00	12,75	22,46	25,93	11,69	11,82	3,1
<b>Общий концентрат</b>	<b>20,55</b>	<b>11,54</b>	<b>39,00</b>	<b>14,87</b>	<b>49,84</b>	<b>68,84</b>	<b>25,95</b>	<b>31,38</b>	<b>2,6</b>
Хвосты	79,45	44,58	10,15	1,74	50,16	31,16	26,07	14,17	-
Класс 3 – 0,63 мм	100,0	56,12	16,08	4,44	100,0	100,0	52,02	45,55	-
Класс 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	-	-	40,51	47,99	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,47	6,46	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,35</b>	<b>5,47</b>	-	-	100,0	100,0	-

*Примечание:* Класс 3-0,63 мм, частота пульсаций 270 кол/мин, амплитуда 8 мм.

Таблица 24 – Результаты отсадки класса 3 - 0,63 мм(вариант 3)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
Концентрат 1 камера	13,57	7,62	37,50	14,84	31,76	45,66	16,50	20,74	2,5
Концентрат 2 камера	10,95	6,14	39,38	12,50	26,92	31,04	13,96	14,07	3,2
<b>Общий концентрат</b>	<b>24,52</b>	<b>13,76</b>	<b>38,34</b>	<b>13,80</b>	<b>58,68</b>	<b>76,70</b>	<b>30,46</b>	<b>34,81</b>	<b>2,8</b>
Хвосты	75,48	42,36	8,77	1,36	41,32	23,30	21,45	10,57	-
Класс 3-0,63 мм	100,0	56,12	16,02	4,41	100,0	100,0	51,91	45,38	-
Класс 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	-	-	40,61	48,16	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,48	6,46	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,31</b>	<b>5,45</b>	-	-	100,0	100,0	-

*Примечание:* Класс 3 - 0,63 мм, частота 390 кол/мин, амплитуда - 6 мм.

Таблица 25– Результаты отсадки класса 3 - 0,63 мм (вариант 4)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
Концентрат 1 камера	16,21	9,1	37,42	14,25	37,82	52,14	19,66	23,73	2,6
Концентрат 2 камера	13,86	7,78	39,22	11,08	33,89	34,67	17,62	15,77	3,5
<b>Общий концентрат</b>	<b>30,07</b>	<b>16,88</b>	<b>38,25</b>	<b>12,79</b>	<b>71,71</b>	<b>86,81</b>	<b>37,28</b>	<b>39,50</b>	<b>3,0</b>
Хвосты	69,93	39,24	6,49	0,83	28,29	13,19	14,69	5,99	-
Класс 3-0,63 мм	100,0	56,12	16,04	4,43	100,0	100,0	51,97	45,49	-
Класс 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	-	-	40,56	48,06	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,47	6,45	-
<b>Руда</b>	-	<b>100,0</b>	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	-	-	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	-

*Примечание:* Отсадка класса 3 - 0,63 мм, частота пульсаций 390 кол/мин, амплитуда - 8 мм.

Наиболее высокие показатели по извлечению марганца, полученные при отсадке класса 3-0,63 мм приведены в таблице 25 (вариант 4). Так выход концентрата составил 16,88 %, содержанием марганца 38,25 % при извлечении марганца 37,28 %. Содержание железа в концентрате составило 12,79 %.

### 2.5.3 Обогащение класса 0,63 - 0,071 мм на концентрационном столе

Для обогащения класса крупностью 0,63 – 0,071 мм использовался концентрационный стол типа СКО – 0,5 завода «Труд».

Результаты обогащения на концентрационном столе класса крупностью 0,63 - 0,071 мм, приведены в таблицах 26-27, а схема на рисунке 16.



Рисунок 16 – Схема обогащения на концентрационном столе

Таблица 26 – Результаты обогащения на столе класса 0,63 - 0,071 мм (вариант 1)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат</b>	<b>14,02</b>	<b>5,05</b>	<b>35,90</b>	<b>23,66</b>	<b>24,56</b>	<b>43,66</b>	<b>10,25</b>	<b>21,43</b>	<b>1,52</b>
Промпродукт	40,85	14,71	28,96	7,44	57,70	40,01	24,09	19,63	
Хвосты	45,13	16,25	8,06	2,75	17,74	16,33	7,41	8,02	
Промпродукт плюс хвосты	85,98	30,96	17,99	4,98	75,44	56,34	31,50	27,65	
Класс 0,63 – 0,071 мм	100,0	36,01	20,5	7,6	100,0	100,0	41,75	49,08	
Класс 3-0,63 мм		56,12	16,04	4,43			50,92	44,58	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,33	6,34	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,68</b>	<b>5,58</b>	-	-	100,0	100,0	-

Таблица 27 –Результаты обогащения на столе класса 0,63 - 0,071 мм (вариант 2)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
	класса	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат</b>	<b>25,33</b>	<b>9,12</b>	<b>35,30</b>	<b>19,86</b>	<b>43,61</b>	<b>66,18</b>	<b>18,21</b>	<b>32,47</b>	<b>1,78</b>
Промпродукт	29,55	10,64	26,81	4,50	38,65	17,49	16,14	8,59	
Хвосты	45,13	16,25	8,06	2,75	17,74	16,33	7,41	8,02	
Промпродукт плюс хвосты	74,67	26,89	15,48	3,44	56,39	33,82	23,54	16,61	
Класс 0,63 – 0,071 мм	100,0	36,01	20,5	7,6	100,0	100,0	41,75	49,08	
Класс 3-0,63 мм		56,12	16,04	4,43			50,92	44,58	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,33	6,34	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,68</b>	<b>5,58</b>	-	-	100,0	100,0	-

В таблице 27 приведены наиболее высокие показатели получаемые при обогащении класса 0,63 – 0,071 мм на концентрационном столе. Выход концентрата составил 9,12 % от руды с содержанием марганца и железа 35,3 и 19,86 %, при извлечении марганца и железа 18,21 % и 32,47 % от руды.

Следует отметить, что получение марганцевого концентрата с содержанием марганца не менее 38 % из класса крупностью 0,63 – 0,071 мм обогащением на концентрационном столе не представляется возможным вследствие значительной концентрации железа.

## 2.6 Обогащение класса 0,63 -0,071 мм магнитной сепарацией

Обогащение тонкого класса крупностью 0,63 – 0,071 мм осуществлялось на лабораторном электромагнитном сепараторе типа 138Т-СЭМ с высокой напряженностью магнитного поля.

Схема магнитной сепарации приведена на рисунке 17. Результаты исследований по магнитной сепарации класса 0,63 - 0,071 мм приведены в таблицах 28-31.

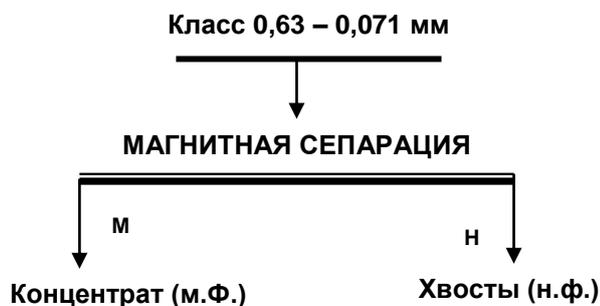


Рисунок 17– Схема магнитной сепарации

Таблица 28 – Результаты магнитной сепарации класса 0,63–0,071 мм (вариант 1)

Продукты	Напряженность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат м.ф.</b>	<b>665</b>	<b>9,57</b>	<b>41,78</b>	<b>7,17</b>	<b>23,07</b>	<b>12,56</b>	<b>5,8</b>
Хвосты н.ф.	-	26,44	11,46	7,33	17,49	35,5	-
Итого класс 0,63-0,071мм	-	36,01	19,52	7,29	40,56	48,06	-
Класс 3-0,63 мм	-	56,12	16,04	4,43	51,97	45,49	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,47	6,45	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	100,0	100,0	-

Таблица 29 – Результаты магнитной сепарации класса 0,63–0,071 мм (вариант 2)

Продукты	Напряженность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат м.ф.</b>	<b>671</b>	<b>14,22</b>	<b>38,24</b>	<b>8,45</b>	<b>31,38</b>	<b>22,01</b>	<b>4,5</b>
Хвосты н.ф.	-	21,79	7,3	6,5	9,18	26,05	-
Итого класса 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	40,56	48,06	-
Класс 3-0,63 мм	-	56,12	16,04	4,43	51,97	45,49	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,47	6,45	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	100,0	100,0	-

Таблица 30 – Результаты магнитной сепарации класса 0,63–0,071 мм (вариант 3)

Продукты	Напряженность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат м.ф.</b>	<b>675</b>	<b>16,64</b>	<b>35,94</b>	<b>10,28</b>	<b>34,51</b>	<b>31,3</b>	<b>3,5</b>
Хвосты н.ф.	-	19,37	5,41	4,72	6,05	16,76	-
Итого класс 0,63-0,071мм	-	36,01	19,52	7,29	40,56	48,06	-
Класс 3-0,63 мм	-	56,12	16,04	4,43	51,97	45,49	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,47	6,45	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	100,0	100,0	-

Таблица 31 - Результаты магнитной сепарации класса 0,63–0,071 мм (вариант 4)

Продукты	Напряженность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат м.ф.</b>	<b>690</b>	<b>18,57</b>	<b>34,06</b>	<b>10,48</b>	<b>36,5</b>	<b>35,61</b>	<b>3,3</b>
Хвосты н.ф.	-	17,44	4,04	3,89	4,06	12,45	-
Итого класс 0,63-0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	40,56	48,06	-
Класс 3-0,63 мм	-	56,12	16,04	4,43	51,97	45,49	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,47	6,45	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	100,0	100,0	-

Наиболее высокие показатели, полученные по магнитной сепарации класса 0,63–0,071 мм, приведены в таблице 29 (вариант 2).

Так выход концентрата составил 14,22 %, содержанием марганца 38,24 % при извлечении марганца 31,38 %. Содержание железа в концентрате составило 8,45 %.

### 2.7 Обогащение широко классифицированного класса крупности 3 -0,071 мм магнитной сепарацией

Для обогащения широко классифицированного класса крупностью 3 – 0,071 мм использовался лабораторный электромагнитный сепаратор 138Т-СЭМ с высокой напряженностью магнитного поля.

Схема магнитной сепарации приведена на рисунке 18. Результаты магнитной сепарации сведены в таблицах 32-35.

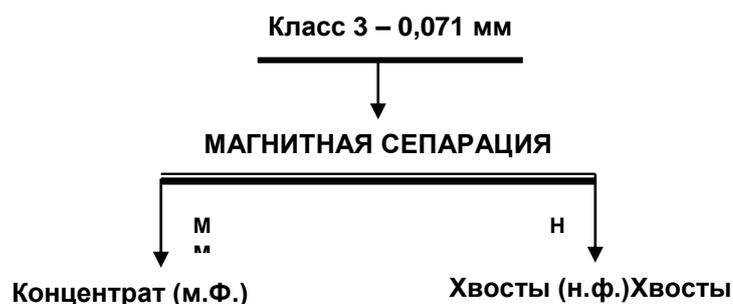


Рисунок 18– Схема магнитной сепарации

Таблица 32 - Магнитная сепарация исходных шламов (вариант 1)

Продукты	Напря- женность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат (м.ф.)</b>	<b>665</b>	<b>13,89</b>	<b>43,00</b>	<b>5,27</b>	<b>33,09</b>	<b>13,47</b>	<b>8,16</b>
Хвосты н.ф.	-	78,24	13,77	5,56	59,72	80,05	-
Итого 3-0,071мм	-	92,13	18,18	5,51	92,81	93,52	-
Класс 0,071 - 0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,19	6,48	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>18,05</b>	<b>5,43</b>	100,0	100,0	-

Таблица 33- Магнитная сепарация исходных шламов (вариант 2)

Продукты	Напря- женность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат (м.ф.)</b>	<b>675</b>	<b>30,08</b>	<b>39,71</b>	<b>7,12</b>	<b>66,17</b>	<b>39,43</b>	<b>5,58</b>
Хвосты н.ф.	-	62,05	7,75	4,74	26,64	54,09	-
Итого 3-0,071мм	-	92,13	18,18	5,51	92,81	93,52	-
Класс 0,071 - 0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,19	6,48	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>18,05</b>	<b>5,43</b>	100,0	100,0	-

Таблица 34 - Магнитная сепарация исходных шламов (вариант 3)

Продукты	Напря- женность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат (м.ф.)</b>	<b>682</b>	<b>32,64</b>	<b>38,41</b>	<b>7,52</b>	<b>69,47</b>	<b>45,22</b>	<b>5,11</b>
Хвосты н.ф.	-	59,49	7,08	4,41	23,34	48,30	-
Итого 3-0,071мм	-	92,13	18,18	5,51	92,81	93,52	-
Класс 0,071 - 0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,19	6,48	-
<b>Руда</b>	-	100,0	<b>18,05</b>	<b>5,43</b>	100,0	100,0	-

Таблица 35 - Магнитная сепарация исходных шламов (вариант 4)

Продукты	Напря- женность, кА/м	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат (м.ф.)</b>	<b>690</b>	<b>36,93</b>	<b>37,85</b>	<b>8,06</b>	<b>77,44</b>	<b>54,71</b>	<b>4,70</b>
Хвосты н.ф.	-	55,20	5,03	3,82	15,37	38,81	-
Итого 3-0,071мм	-	92,13	18,18	5,51	92,81	93,52	-
Класс 0,071 - 0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	7,19	6,48	-
<b>Руда</b>	-	<b>100,0</b>	<b>18,05</b>	<b>5,43</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	-

Наиболее высокие показатели по магнитному обогащению класса крупностью 3 – 0,071 мм получаются по варианту 3, таблица 34.

Так выход концентрата составил 32,64 %, содержанием марганца 38,41 % при извлечении марганца 69,47 %. Содержание железа в концентрате составило 7,52 %.

## 2.8 Проверка возможности снижения содержания железа в концентрате отсадки класса крупностью 3 – 0,63 мм магнитной сепарацией

Выполнены опыты по отсадке класса 3 – 0,63 мм по параметрам указанным в пункте 2.5.2 (таблица 20 вариант 4), с целью наработки концентрата и его дальнейшего фракционирования по магнитной восприимчивости. Результаты опыта приведены в таблице 36.

Таблица 36– Результаты отсадки класса 3 - 0,63 мм

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание, %		Извлечение от класса, %		Извлечение от руды, %		Mn/ Fe
	класс а	руды	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Общий концентрат</b>	<b>30,26</b>	<b>16,98</b>	<b>38,09</b>	<b>10,94</b>	<b>71,31</b>	<b>71,00</b>	<b>37,18</b>	<b>33,20</b>	<b>3,48</b>
Хвосты	69,74	39,14	6,65	1,94	28,69	29,00	14,96	13,57	-
Класс 3-0,63 мм	100,0	56,12	16,16	4,66	100,0	100,0	52,14	46,77	-
Класс 0,63 - 0,071 мм	-	36,01	19,52	7,29	-	-	40,41	46,94	-
Класс 0,071-0,0 мм	-	7,87	16,46	4,48	-	-	7,45	6,29	-
<b>Руда</b>	-	<b>100</b>	<b>17,40</b>	<b>5,59</b>	-	-	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	-

*Примечание:* отсадка класса 3-0,63 мм, частота пульсаций 390 кол/мин, амплитуда - 8 мм.

Для проверки возможности снижения содержания железа в

концентрате отсадки класса крупностью 3 – 0,63 мм использовался лабораторный электромагнитный сепаратор 138Т - СЭМ с высокой напряженностью магнитного поля.

Методика эксперимента заключалась в выделение максимально возможных магнитных фракций различной магнитной восприимчивостью, путем последовательного их выделения из концентрата отсадки класса крупностью 3 – 0,63 мм. Результаты приведены в таблице 36.

Таблица 37 - Фракционный анализ концентрата отсадки 3 – 0,63 мм по магнитной восприимчивости

Напряженность, кА/м	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
650	0,41	20,03	30,10	0,47	2,21	0,67
655	0,32	38,12	11,96	0,70	0,68	3,19
660	3,22	49,19	2,89	9,11	1,65	17,02
665	3,19	47,69	4,88	8,75	2,77	9,77
670	1,51	42,69	9,88	3,71	2,67	4,32
675	1,80	41,10	10,26	4,25	3,30	4,01
680	1,77	38,05	15,61	3,87	4,94	2,44
685	1,70	33,25	20,22	3,25	6,15	1,64
690	1,16	28,46	21,51	1,90	4,46	1,32
Н.ф.	1,90	10,75	12,82	1,17	4,37	0,84
<b>Концентрат 3 – 0,63 мм</b>	<b>16,98</b>	<b>38,09</b>	<b>10,94</b>	<b>37,18</b>	<b>33,20</b>	<b>3,48</b>
<b>Руда</b>	-	<b>17,40</b>	<b>5,59</b>	-	-	-

Из полученных результатов следует, что распределение содержания марганца и железа имеет неравномерный характер, и нет четкой грани по повышению или снижению содержания железа в магнитных фракциях в зависимости от напряженности магнитного поля.

Возможные варианты доводки марганцевых концентратов класса крупностью 3 – 0,63 мм приведены в таблицах 38-40 и на рисунках 19-21.

*Вариант № 1*

Таблица 38 – Результаты доводки марганцевого концентрата класса 3 – 0,63 мм

Наименование	Напряжен- ность кА/м	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
Низко железистый концентрат	690	14,67	42,13	10,16	35,54	26,62	4,15
Высоко железистый концентрат	-	2,31	12,43	15,90	1,64	6,58	0,78
<b>Концентрат класса 3 – 0,63 мм</b>	-	<b>16,98</b>	<b>38,09</b>	<b>10,94</b>	<b>37,18</b>	<b>33,2</b>	<b>3,48</b>

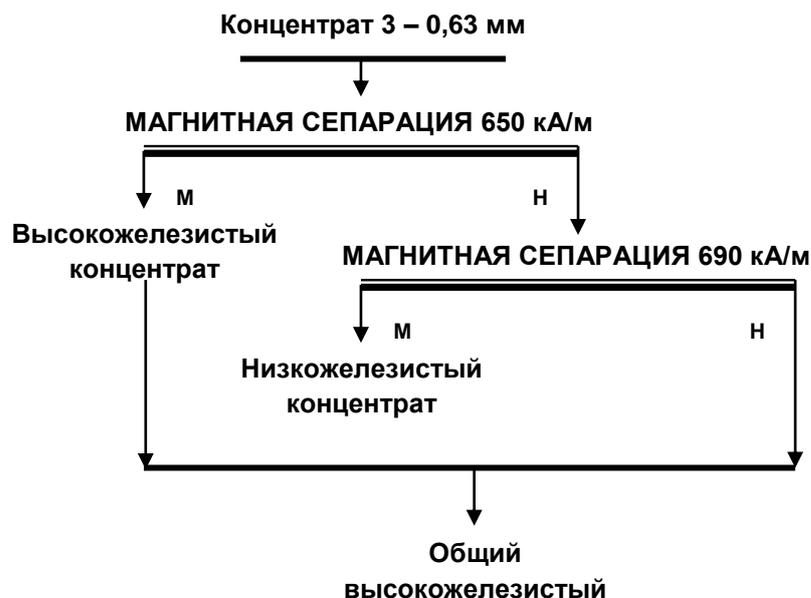


Рисунок 19 – Схема доводки марганцевого концентрат класса 3 – 0,63 мм

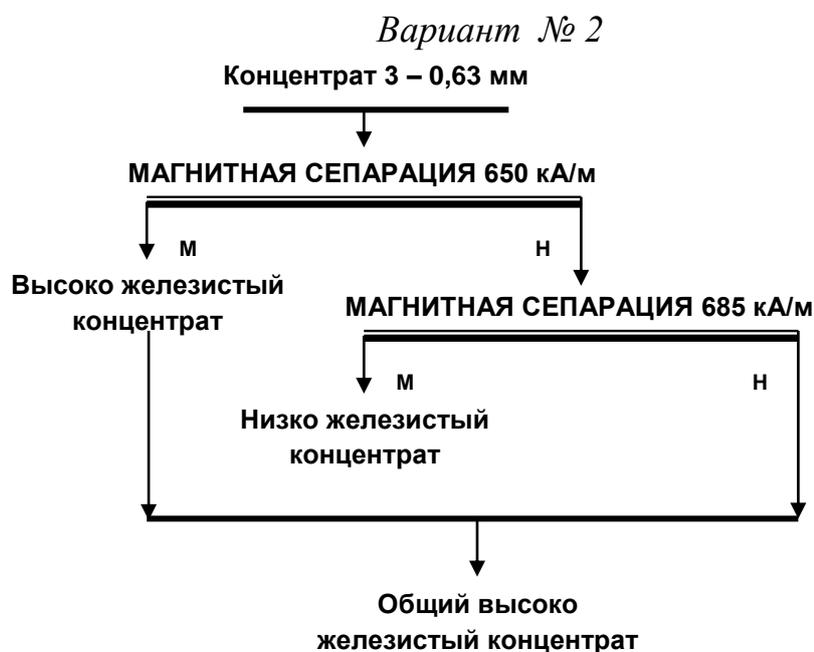


Рисунок 20 – Схема доводки марганцевого концентрат класса 3 – 0,63 мм

Таблица 39 – Результаты доводки марганцевого концентрата класса 3 – 0,63 мм

Наименование	Напряженность кА/м	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение, %		От-ние Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
Низко железистый концентрат	685	13,51	43,30	9,19	33,64	22,16	4,71
Высоко железистый концентрат	-	3,47	17,79	17,77	3,54	11,04	1,00
<b>Концентрат класса 3 – 0,63 мм</b>	-	<b>16,98</b>	<b>38,09</b>	<b>10,94</b>	<b>37,18</b>	<b>33,2</b>	<b>3,48</b>

Вариант № 3

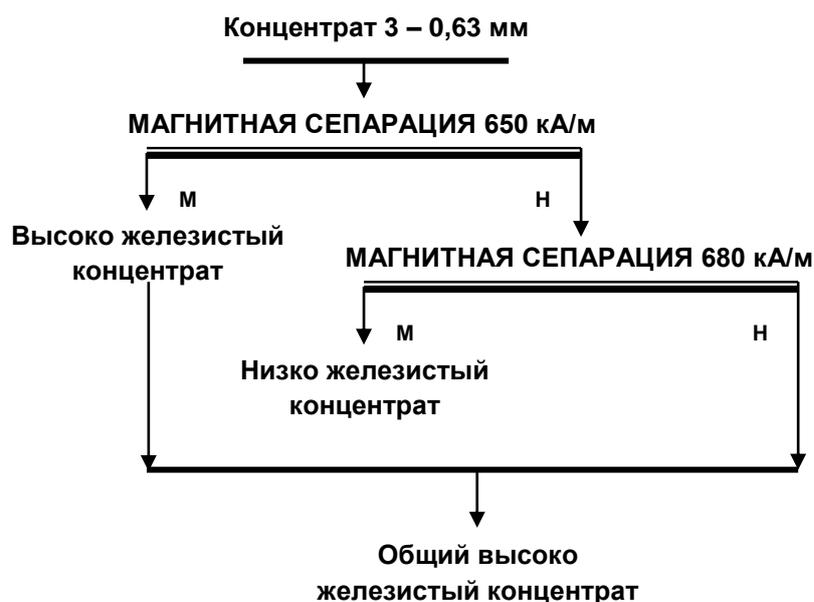


Рисунок 21 – Схема доводки марганцевого концентрата класса 3 – 0,63 мм

Таблица 40 – Доводка марганцевого концентрата класса 3 – 0,63 мм вариант 3

Наименование	Напряженность, кА/м	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение, %		Отношение Mn/Fe
			Mn	Fe	Mn	Fe	
Низко железистый концентрат	680	11,81	44,75	7,60	30,39	16,01	5,89
Высоко железистый концентрат	-	5,17	22,87	18,58	6,79	17,19	1,23
<b>Концентрат класса 3 – 0,63 мм</b>	-	<b>16,98</b>	<b>38,09</b>	<b>10,94</b>	<b>37,18</b>	<b>33,2</b>	<b>3,48</b>

В зависимости от того, с каким соотношением марганца и железа необходимо получать концентрат можно принимать любую схему доводки марганцевого концентрата отсадки класса 3 – 0,63 мм

## 2.9 Рекомендуемые схемы переработки и получаемые технологические показатели

### 2.9.1 Гравитационная схема переработки шламов с использованием процесса отсадки широко классифицированного класса

Технологическая схема приведена на рисунке 22. Технологические показатели приведены в таблице 41.



Рисунок 22– Гравитационная схема переработки марганцевых шламов с использованием процесса отсадки класса 3 – 0,071 мм

Таблица 41– Технологические показатели по схеме с использованием процесса отсадки

Наименование продукта	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат 3 – 0,071 мм</b>	<b>27,77</b>	<b>35,21</b>	<b>12,42</b>	<b>56,37</b>	<b>65,08</b>	<b>2,83</b>
Хвосты 3 – 0,071 мм	64,36	9,74	2,33	36,16	28,27	-
Шламы 0,071-0,0 мм	7,87	16,46	4,48	7,47	6,65	-
Хвосты плюс шламы	72,23	10,47	2,56	43,63	34,92	-
Руда	100,0	<b>17,34</b>	<b>5,3</b>	100,0	100,0	-

## 2.9.2 Гравитационная схема переработки с использованием процесса отсадки и обогащения на концентрационном столе

Технологическая схема приведена на рисунке 23. В таблице 42 приведены технологические показатели по переработке марганцевых шламов по гравитационной технологии с использованием процесса отсадки класса 3 – 0,63 мм и обогащения на концентрационном столе класса 0,63 – 0,071 мм.

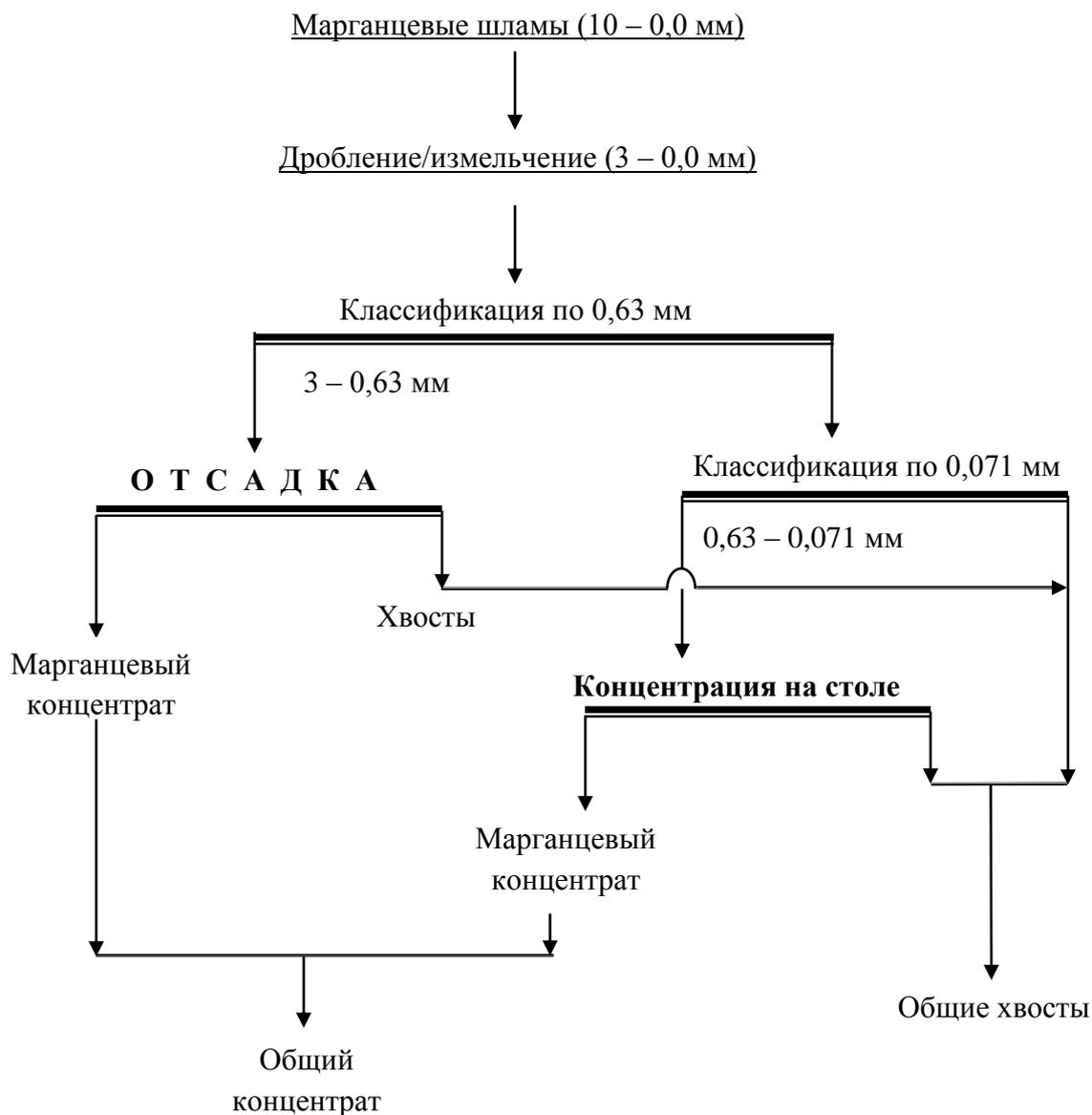


Рисунок 23– Гравитационная схема переработки с использованием процесса отсадки и обогащения на концентрационном столе

Таблица 42 – Технологические показатели по технологии с использованием процесса отсадки и обогащения на концентрационном столе

Наименование продукта	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
Концентрат отсадки 3 – 0,63 мм	16,88	38,25	12,79	36,52	38,74	2,99
Концентрат стола 0,63 – 0,071 мм	9,12	35,3	19,86	18,21	32,50	1,78
<b>Общий концентрат 3 – 0,071 мм</b>	<b>26,00</b>	<b>37,22</b>	<b>15,27</b>	<b>54,73</b>	<b>71,24</b>	<b>2,44</b>
Хвосты отсадки 3 – 0,63 мм	39,24	6,49	0,83	14,40	5,85	
Хвосты стола 0,63 – 0,071 мм	26,89	15,48	3,44	23,54	16,59	
Шламы 0,071-0,0 мм	7,87	16,46	4,48	7,33	6,32	
Хвосты плюс шламы	74,00	10,82	2,17	45,27	28,76	
<b>Руда</b>	<b>100,00</b>	<b>17,68</b>	<b>5,57</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

### 2.9.3 Гравитационно-магнитная схема переработки марганцевых шламов

Технологическая схема приведена на рисунке 24. В таблице 43 приведены технологические показатели по переработки марганцевых шламов по гравитационно-магнитной схеме обогащения.

Таблица 43 – Технологические показатели по гравитационно-магнитной схеме

Наименование продукта	Выход, % от руды	Содержание, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
Концентрат отсадки 3 – 0,63 мм	16,88	38,25	12,79	37,28	39,5	<b>3,0</b>
Концентрат магнит. сепарации 0,63 – 0,071 мм	14,22	38,24	8,45	31,38	22,01	<b>4,5</b>
<b>Общий концентрат 3 – 0,071 мм</b>	<b>31,10</b>	<b>38,25</b>	<b>10,81</b>	<b>68,66</b>	<b>61,51</b>	<b>3,5</b>
Хвосты 3 – 0,63 мм	39,24	6,49	0,83	14,69	5,99	-
Хвосты 0,63 – 0,071 мм	21,79	7,3	6,5	9,18	26,05	-
Шламы 0,071-0,0 мм	7,87	16,46	4,48	7,47	6,45	-
Хвосты плюс шламы	68,9	7,88	3,04	31,34	38,49	-
Руда	100,0	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	100,0	100,0	-

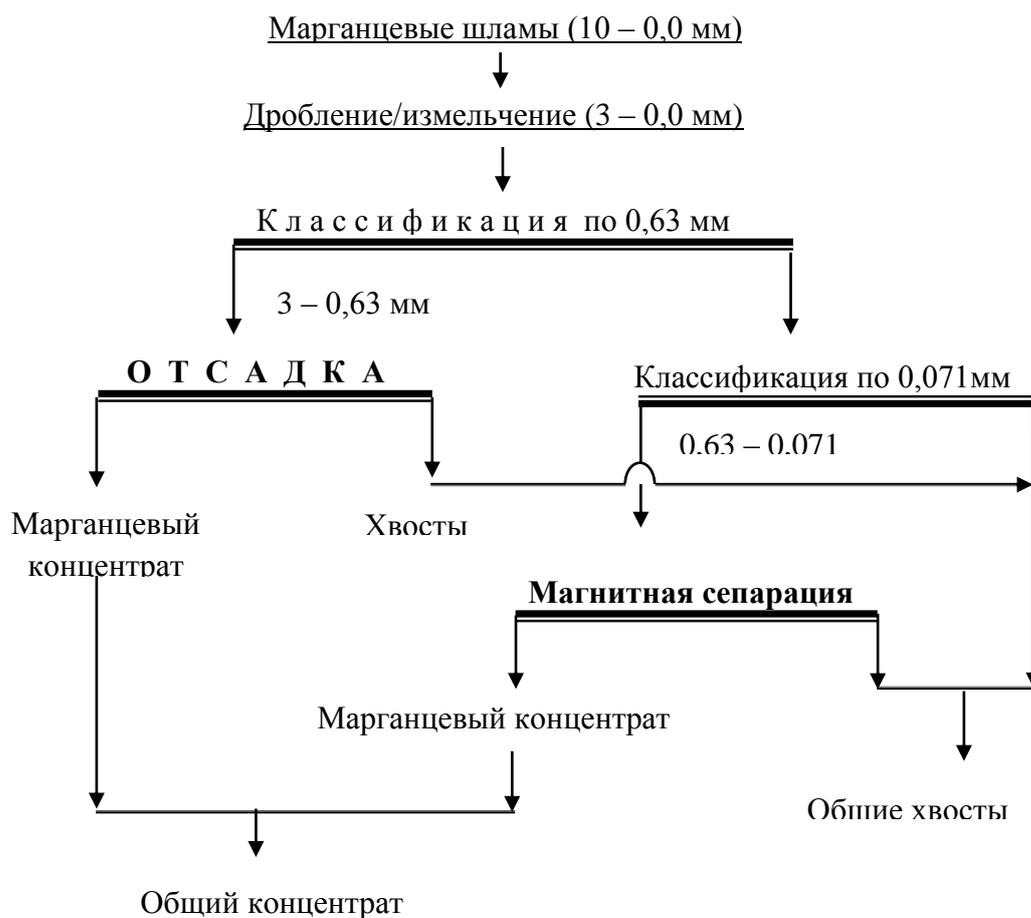


Рисунок 24– Гравитационно-магнитная схема переработки

## 2.9.4 Схема переработки марганцевых шламов с использованием процесса магнитной сепарации

Технологическая схема обогащения приведена на рисунке 25.

Технологические показатели по переработки марганцевых шламов по магнитной схеме обогащения приведены в таблице 44.



Рисунок 25– Магнитная схема переработки марганцевых шламов

Таблица 44– Технологические показатели по магнитной схеме обогащения

Наименование продукта	Выходот руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>Концентрат магнитная фракция</b>	<b>32,64</b>	<b>38,41</b>	<b>7,52</b>	<b>69,47</b>	<b>45,22</b>	<b>5,11</b>
Хвосты	59,49	7,08	4,41	23,34	48,3	-
Класс 0,071-0,0 мм	7,87	16,46	4,48	7,19	6,48	-
Хвосты плюс класс 0,071-0,0 мм	67,36	8,18	4,42	30,53	54,78	-
Руда	100,0	<b>18,05</b>	<b>5,43</b>	100,0	100,0	-

## 2.10 Сводные показатели по рекомендуемым схемам переработки

Технологические показатели по всем рекомендуемым схемам переработки приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Сводная таблица показателей по рекомендуемым схемам обогащения (по концентратам)

Наименование схемы обогащения	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %		От- ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
Гравитационная схема переработки шламов с использованием процесса отсадки широко классифицированного класса	27,77	<b>35,21</b>	<b>12,42</b>	<b>56,37</b>	<b>65,08</b>	<b>2,83</b>
Гравитационная схема переработки с использованием процесса отсадки и обогащения на концентрационном столе	26,00	<b>37,22</b>	<b>15,27</b>	<b>54,73</b>	<b>71,24</b>	<b>2,44</b>
Гравитационно-магнитная схема переработки марганцевых шламов	31,10	<b>38,25</b>	<b>10,81</b>	<b>68,66</b>	<b>61,51</b>	<b>3,5</b>
Магнитная схема переработки	32,64	<b>38,41</b>	<b>7,52</b>	<b>69,47</b>	<b>45,22</b>	<b>5,11</b>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении магистерской диссертации были исследованы:

1. Изучены минералогический и химический состав марганцевых хвостов полученные в результате обогащения марганцевых руд месторождения Ушкатын III. Основным рудным минералом является браунит, который наблюдается как в виде отдельных зерен, так и в сростании с кварцем и кальцитом.

2. Результаты исследования, фракционного состава лежалых шламов гравитационного обогащения, показали, что в машинных классах крупностью 3 – 0,63 мм и 0,63 – 0,071 мм содержится тяжелая концентратная фракция с плотностью более 3450 кг/м<sup>3</sup>. Теоретически возможный выход, концентратной фракции из класса 3 – 0,63 мм составил 16,45 %, с содержанием марганца 40,63 % при извлечении 37,59 % и класса 0,63 – 0,071 мм выход составил 13,09 % с содержанием марганца 39,28 % при извлечении 28,92 %.

3. В результате исследований по отсадке шламов было определено, что только при обогащении узкого класса крупностью 3 – 0,63 мм возможно получение концентрата с содержанием марганца не менее 38 %.

4. Получение концентрата с содержанием марганца не менее 38 % из тонкого класса крупностью 0,63 – 0,071 мм возможно только магнитной сепарацией.

5. В качестве альтернативного варианта для обогащения широко классифицированного класса крупностью 3 – 0,071 мм возможно использовать процесс магнитной сепарации для получения марганцевого концентрата с содержанием марганца 38%.

6. На основании результатов исследований по определению обогатимости лежалых шламов разработаны и предлагаются к использованию различные технологические схемы:

1) Наиболее эффективной является схема, включающая гравитационно-магнитный процессы обогащения.

2) Альтернативной схемой является схема, включающая только процесс магнитной сепарации класса 3 – 0,071 мм.

**Оценка полноты решений поставленных задач.** Все поставленные в работе задачи решены в полном объеме: исследован гранулометрический состав марганцевых шламов; исследован фракционный анализ марганцевых шламов, определена необходимая плотность разделения для получения концентратов с содержанием марганца более 38 %; определена гравитационная и магнитная обогатимость шламов (хвостов); выполнены исследование с использованием процесса отсадки, концентрации на столе и магнитной сепарации. На основании полученных результатов разработаны оптимальные технологические схемы переработки марганцевых шламов.

**Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию полученных результатов.** Результаты данной магистерской диссертации могут быть использованы для исследований по определению гравитационной обогатимости аналогичного типа сырья и разработки технологических схем обогащения.

**Оценка технико-экономической эффективности внедрения.**

Ожидаемая технико-экономическая эффективность от внедрения результатов, проведенных исследований, достаточно высока, так как сырье не требует горных работ, транспортировки и процессов рудоподготовки. При использовании гравитационно-магнитных методов обогащения, возможно получить марганцевый концентрат с содержанием марганца не менее 38%.

**Оценка научно-технического уровня выполненной работы.**

Научно-технический уровень выполненной научно-исследовательской работы является достаточно высоким, так как разработанные схемы обогащения, позволяют использовать в качестве исходного сырья марганцевые хвосты, запасы которых исчисляются миллионами тонн, с получением марганцевого концентрата удовлетворяющих требования металлургического производства.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахманов В.П. Марганец. Справочник по рудам черных металлов для геологов. – М. Недра, 1985. –С.77-186.
2. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. –М.Л. Недра, 1955.-С. 331.
3. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. –М. Иностранная литература, 1962.-С. 1132 с.
4. Hewett D.F. Deposits of manganese oxides/ Enon Geod. 55(1-33). Deisher Manon Connin, 1963.- 152 p.
5. Салли А. Марганец. –М.Металлургиздат, 1959. –С 296.
6. Полезные ископаемые. –М. Недра, 1982.- С 383.
7. Варенцов И.М.,Формозова Л.Н. Осадочные руды железа и марганца. – М.АН СССР, 1962. –С 172.
8. Потконен Н.И., Мстисловаский М.М. Новые данные об алабандине Чиатурского месторождения// Известия вузов. Вып. Геология и разведка.- 1986.-№6-49-53 с.
9. Михайлов Б.М.,Рогов В.С. Генетическая связь марганцевых и алюминиевых руд в девонских отложениях Пай-Хоя . -М.Наука,1984.- С 183-190.
10. Государственный баланс запасов полезных ископаемых СССР. Марганцевые руды. – М. ПО «Союзгеолфонд», 1975.- С 256.
11. Марганцевые месторождения СССР. –М. Наука, 1976. - С460.
12. Минеральные ресурсы мира. –М. АО «ВНИИзарубежгеология»,1997. – С 400.
13. Технологическая оценка минерального сырья. Разработка технологии обогащения руд: Справочник/ Под ред. П.Е. Остапенко. – М. Недра, 1992. – С 414.
14. Минеральные ресурсы мира. –М. АО « Аэрогеология», 1997.- С 245.
15. Обогащение марганцевых руд основных месторождений Советского Союза. – М.Недра, 1963 – С 244.
16. Справочник по обогащению руд. Т.3 / Под ред. О.С. Богданова. –М. Недра, 1974. – С 288.
17. Бедрань Н.Г., Скороходова Л.М. Переработка и качество полезных ископаемых. –М. Недра, 1986. – С 179-182.
18. Разработка и внедрение промышленных радиометрических сепараторов /Д.В. Шепелев, В.А. Петухов, Ю.С. Динцис и др. // Цветные металлы. -1995. –№2.-С.61-62.
19. Бочаров В.И. Перспективы развития марганцеворудной промышленности. М.Горный вестник. -№ 1. –1998.- С 5-10 .
20. Зурабишвили И.И., Каландадзе В.А., Кикабидзе А.Ф. Разработка марганцеворудных месторождений. – М. Недра,1987 – С 431.
21. Технологический регламент на проектирование обогатительной фабрики по переработке первично-окисной маложелезистой марганцевой руды

- месторождения «Ушкатын Ш». Науч. Рук. Студенцов В.В., Рожнов А.А., Казмеханообр, Алматы, 1983 –С 78.
22. Лабораторные технологические испытания окисленной марганцевой руды месторождения «Камыс». Отчет НИР. Уралмеханообр. Рук. Комлев А.М., Карачева Е.Е., Свердловск, 1989 – С 150.
23. Исследование на обогатимость марганцевой руды месторождения «Тур»/Телков Ш.А., Студенцов В.В. и др. М.Казмеханообр.- Алматы, 1996.- 63 с.
24. Закономерности гравитационной обогатимости дробленных руд основных месторождений марганца в Казахстане. Телков Ш.А., Райвич И.Д., Безгинова Л.И. и др. Вестник КазНТУ. Алматы, 1995. - С. 37-40.
25. Разработка рекомендаций по оптимизации режима обогащения марганцевой руды месторождения «Ушкатын». // Отчет НИР. КазПТИ им. Ленина В.И. Рук. Райвича И.Д., Алматы, 1993. –С .33.
26. Оценка пероксидности марганцевых руд Атасуйского района. //Отчет о результатах поисковых работ Жальминской ГРП. // Рук. Сегрийко Ю.А., Лыпкин В.А.. Караганда, 1989 – С 78.
27. Минерально-сырьевая база Республики Казахстан на рубеже перехода к рыночной экономике. М. Минеральные ресурсы Казахстана. Алматы, 1995.-С .127.
28. Студенцов В.В., Клец А.Н. Горно-металлургический комплекс Республики Казахстан: Анализ, запасы, технологии. М. Алматы, 1998. -С.185-210.
29. Обработка марганцевых шламов и руд сернистым газом./ Какабадзе В.М.. ЖПХ. 1951. –С .252-263.
30. Weld С.М. Manganese: Uses, Preparation, Mining Costs and the Production of Ferr-Alloys. М. Washington. 2018. - P 1082.
31. Manganese Ores of Supergene Zone: Geochemistry of Formation (Solid Earth Sciences Library). Varentsov I.M. 1996. 344 p.
32. Graham S.T., Trotman H.E. Analysis of Processing Technology for Manganese Nodules (Seabed Minerals).М. New-York. 1986. –P 98.
33. The research of gravitational and magnetic enrichment of stale tailings of manganese with the determination of the possibility of their processing. /Telkov S.A., Motovilov I.Y., Daruesh G.S./ - 2018- №1- P. 65-70.

## Приложение А оттиски опубликованных статей

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF KAZAKHSTAN

Қ.И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.И. САТПАЕВА  
KAZAKH NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY AFTER K.I. SATPAYEV



СӘТБАЕВ  
УНИВЕРСИТЕТІ

«ДӘСТҮРЛІ ПРОБЛЕМАЛАРДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ  
ШЕШІМДЕРІ: ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАР» СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ

**ЕҢБЕКТЕРІ**

**ТРУДЫ**

САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ  
«ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ  
ТРАДИЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ: ИНЖЕНЕРИЯ И  
ТЕХНОЛОГИИ»

**PROCEEDINGS**

SATPAYEV'S READINGS  
«INNOVATIVE SOLUTIONS TO TRADITIONAL  
PROBLEMS: ENGINEERING AND  
TECHNOLOGY»

Алматы 2018 Almaty

**Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Даруеш Г.С., Кадырсызов Д.С., Таубашев С.Р.**  
*Научные руководители - Ш.А. Телков к.т.н., доцент, ассоциированный профессор, Мотовилов И.Ю. м.т. и т., лектор*  
*Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени К.И.Сатпаева, Казахстан, г.Алматы*  
*motovilov88@inbox.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ И МАГНИТНОЙ ОБОГАТИМОСТИ ЛЕЖАЛЫХ МАРГАНЦЕВЫХ ШЛАМОВ**

*Аннотация: на техногенных отходах лежалых марганцевых шламов полученных в результате обогащения марганцевых руд месторождения «Ушкатын – III» выполнены исследования по изучению гравитационной и магнитной обогатимости с целью получения концентратов с содержанием марганца не менее 38 %.*

*Изучены вещественный, химический и гранулометрический состав лежалых шламов.*

*Выполнены эксперименты и разработаны схемы переработки с использованием гравитационных, гравитационно-магнитных и магнитных процессов обогащения.*

*Ключевые слова: лежалые марганцевые шламы, марганец, железо, отсадка, магнитная сепарация, выход, содержание, извлечение.*

**Введение.** Одним из основных требований к используемым технологиям переработки марганцевых руд является применение крупнокускового обогащения или так называемых «щадящих технологий», предусматривающих максимальное получение крупнокусковых концентратов [1-3].

Как правило, при обогащении марганцевых руд используются операции промывки и отсадки. Отсадка является основным и наиболее экономически выгодным способом обогащения марганцевых руд, что объясняется относительно высоким удельным весом большинства марганцевых минералов (выше  $4 \text{ г/см}^3$ ). Отсадка марганцевых руд дает хорошие результаты при обогащении сравнительно крупных классов, примерно от 50 и до 2,5 мм. Для некоторых тонко вкрапленных руд хорошие результаты дает обогащение на концентрационных столах. В процессе крупнокускового обогащения образуются шламы крупностью 2,5(3) – 0,0 мм, которые, как правило, подвергаются складированию.

На комбинате, в процессе переработки марганцевых руд месторождения «Ушкатын – III», скопилось значительное количество тонких шламов, которые в настоящее время являются потенциальным источником сырья для получения марганец содержащих продуктов или концентратов.

В связи с этим возникла необходимость в проведении исследований по определению гравитационной обогатимости лежалых шламов, с определением возможности их переработки с использованием процесса отсадки и магнитной сепарации с получением марганцевых концентратов с содержанием марганца не менее 38 %.

На кафедре М и ОПИ были выполнены исследования по изучению гравитационной и магнитной обогатимости лежалых марганцевых шламов месторождения Ушкатын – III, в результате которых были определены максимально возможные технологические показатели их обогащения.

Методы проведенных исследований: гранулометрический анализ, фракционный анализ, гравитационное и магнитное обогащение [4,5,6].

**Результаты и их обсуждения.** Изначально на пробе марганцевых шламов были выполнены исследования по изучению вещественного и химического состава.

Вещественный состав изучался рентгено-дифрактометрическим анализом на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с  $CuK\alpha$  – излучением,  $\beta$ -фильтр. Далее приведены межплоскостные расстояния и фазовый состав образцов (таблица 1), результаты полуколичественного рентгенофазового анализа, дифрактограмма пробы (рисунок 1).

Таблица 1 - Межплоскостные расстояния и фазовый состав пробы

d, Å	I %	Минерал	d, Å	I %	Минерал
7.26223	12.1	каолинит	2.51932	9.7	гематит
4.25836	9.8	кварц	2.48872	15.1	-
4.02916	10.4	-	2.45642	9.6	-
3.85033	13.9	-	2.28037	18.1	-
3.67167	10.0	-	2.08940	16.4	-
3.34270	24.2	-	1.90725	15.7	-
3.19207	18.3	полевоы шпат	1.87155	16.2	-
3.02844	100.0	кальцит	1.66020	12.3	-
2.71145	27.8	браунит, гематит	1.60112	11.5	-
2.60652	8.6	альмандин	1.52210	10.6	-

*Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа*

Минерал	Формула	Концентрация, %
Кальцит	$Ca(CO_3)$	45.9
Браунит	$(Mn_2O_3)_3MnSiO_3$	12.6
Кварц	$SiO_2$	10.9
Альбит (ПШ)	$Na(AlSi_3O_8)$	8.2
Каолинит	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	7.6
Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	5.0
Альмандин	$Ca_{1.5}Fe_{1.76}Al_{1.80}Si_{2.94}O_{12}$	4.9
Гематит	$Fe_2O_3$	4.8

Химический состав исходных шламов приведен в таблице 2.

Таблица 2 –Химический состав исходных шламов

Массовая доля элементов, %													
Mn	Fe	S <sub>обм</sub>	Pb	Zn	Cu	As	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Sb	Bi
17,42	5,48	0,24	0,19	0,077	0,003	0,018	13,87	2,67	23,02	1,14	0,067	0,002	0,001

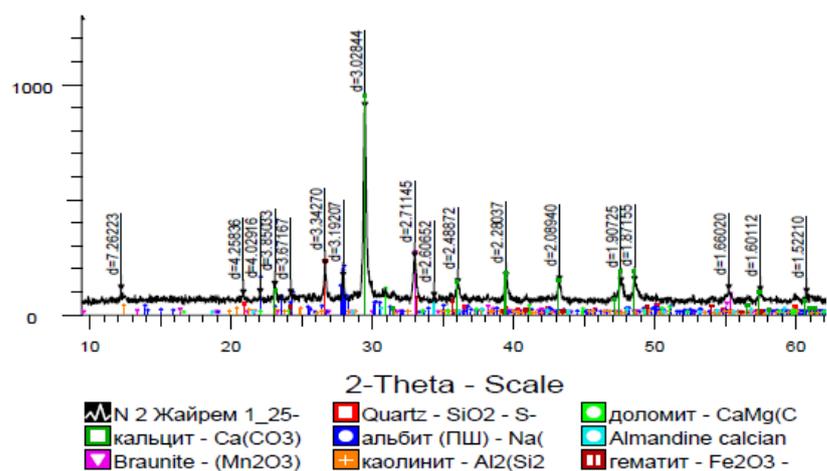


Рисунок 1 – Дифрактограмма пробы

На основании результатов исследований по изучению вещественного состава марганцевых шламов определено, что минеральный состав шламов представлен следующими минералами: основным рудным минералом является браунит ~12 %, который наблюдается как в виде отдельных зерен, так и в сростании с кварцем и кальцитом. Встречается гематит, редкие зерна гаусманита. Нерудные минералы составляют около 60 % и представлены кальцитом ~ 40 %, кварцем ~ 10 %, альбитом ~ 6 %, редкими зернами граната, доломита, каолинита.

Гранулометрический состав и распределение содержания марганца и железа по классам крупности, в исходных шламах приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Гранулометрический состав марганцевых шламов

Классы крупности, мм	Выход, %		Содержание, %		Извлечение, %	
	частный	суммарный по (+)	Mn	Fe	Mn	Fe
– 3 + 1,25	26,40	26,4	17,41	4,06	25,24	20,08
– 1,25 + 0,63	29,72	56,12	18,03	5,10	29,42	28,39
– 0,63 + 0,315	17,84	73,96	18,66	6,36	18,28	21,26
– 0,315 + 0,16	12,68	86,64	20,00	6,71	13,92	15,94
– 0,16 + 0,071	5,49	92,13	20,72	6,69	6,24	6,89
–0,071 + 0,040	2,75	94,88	22,89	6,86	3,45	3,54
–0,040 + 0,030	0,55	95,43	13,62	3,81	0,41	0,40
–0,030 + 0,020	0,93	96,36	15,21	3,73	0,78	0,65
–0,020 + 0,010	1,11	97,47	13,49	3,58	0,82	0,74
–0,010 + 0,005	1,46	98,93	10,94	3,61	0,88	0,99
–0,005 + 0,0	1,07	100,0	9,61	5,61	0,56	1,12
Итого	100,0	-	<b>18,22</b>	<b>5,34</b>	100,0	100,0

Средневзвешенное содержание марганца и железа по результатам изучения гранулометрического состава составило 18,22 % и 5,34 % соответственно.

Основное количество марганца извлекается в крупные классы 3 – 0,16 мм.

Теоретически возможные технологические показатели, полученные при разделении машинных классов, по плотности 3000 кг/м<sup>3</sup> приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Теоретически возможные технологические показатели, получаемые при разделении машинных классов по плотности 3000 кг/м<sup>3</sup>

Наименование продукта	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %	
		Mn	Fe	Mn	Fe
Фракция + 3000 кг/м <sup>3</sup>	22,47	37,45	10,26	47,32	43,32

класс 3–0,63 мм					
Фракция + 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	16,86	36,14	12,57	34,27	39,84
<b>Итого фракция + 3000 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>39,33</b>	<b>36,89</b>	<b>11,25</b>	<b>81,59</b>	<b>83,16</b>
Фракция - 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 3 – 0,63 мм	33,65	3,55	0,99	6,73	6,27
Фракция - 3000 кг/м <sup>3</sup> класс 0,63 – 0,071 мм	19,15	4,10	1,12	4,41	4,02
<b>Итого фракция - 3000 кг/м<sup>3</sup></b>	<b>52,80</b>	<b>3,75</b>	<b>1,04</b>	<b>11,14</b>	<b>10,29</b>
<b>Марганцевые шламы</b>	-	<b>17,78</b>	<b>5,32</b>	-	-

По результатам табл. 4 следует, что для получения концентрата с содержанием марганца не менее 38 % необходимая плотность разделения составит 3100-3200 кг/м<sup>3</sup>.

Также выполнены исследования и разработаны схемы переработки лежалых марганцевых шламов с использованием гравитационных, гравитационно-магнитных и магнитных процессов обогащения.

Технологические показатели полученные по всем разработанным схемам переработки приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технологические показатели получаемых концентратов по рекомендуемым схемам обогащения

Наименование схемы обогащения	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение от руды, %		От-ние Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
Гравитационная схема переработки шламов с использованием процесса отсадки широко классифицированного класса 3 – 0,071 мм	27,77	35,21	12,42	56,37	65,08	2,83
Гравитационная схема переработки с использованием процесса отсадки класса 3 – 0,63 мм и обогащения на концентрационном столе класса 0,63 – 0,071 мм	26,00	37,22	15,27	54,73	71,24	2,44
Гравитационно-магнитная схема переработки марганцевых шламов с использованием процесса отсадки класса 3 – 0,63 мм и обогащения на магнитном сепараторе класса 0,63 – 0,071 мм	31,10	38,25	10,81	68,66	61,51	3,5
Магнитная схема переработки широко классифицированного класса 3 – 0,071 мм	32,64	38,41	7,52	69,47	45,22	5,11

Результаты исследований показали, что наиболее эффективной для обогащения лежалых марганцевых шламов является схема, включающая только процесс магнитной сепарации класса 3 – 0,071 мм.

Альтернативной технологией является схема, включающая гравитационно-магнитные процессы обогащения.

#### Литературы:

1 Горно-металлургический комплекс Республики Казахстан // Анализ, запасы, технологии. – Алматы: Информационно-аналитический центр геологии, экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1997.

2 Толымбетов М.Ж., Святков Б.А. Состояние марганцевой базы Казахстана и пути ее развития // Сб. науч. трудов ХМИ, Алматы, 2002, Т. 30, кн. 1.

3 Телков Ш.А., Студенцов В.В., Клец А.Н. и др. Развитие марганцевой сырьевой базы Казахстана /Научно-практическая конференция //Состояние, разработка и проблемы внедрения прогрессивных технологий добычи и переработки рудного сырья. – Алматы, 1995.

4 Телков Ш.А., Райвич И.Д., Безгинова Л.И. и др. Закономерности гравитационной обогатимости дробленых руд основных месторождений марганца в Казахстане //Вестник КазНТУ, № 3. – Алматы, 1995.

5 Леонов С.Б., Белькова О.Н. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – М.: Интерметинжиниринг, 2001.

6 ГОСТ 4790-80. Метод фракционного анализа. – М.: Недра, 1980

**Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Даруеш Г.С., Кадырсызов Д.С., Таубашев С.Р.**

**Жатып қалған марганец шламдарын гравитациялық және магниттік байытуға зерттеу**

**Түйіндеме.** құрамында 38% кем емес марганец бар концентрат алу мақсатында «Үшкатын-III» кен орнының марганец кендерін байыту нәтижесінде алынған ежелгі марганец шламдарының техногендік қалдықтарын гравитациялық және магниттік байытуға зерттеу үшін зерттеулер жүргізілді.

Жатып қалған шламдардың материалдық-химиялық және гранулометриялық құрамдары зерттелді.

Гравитациялық, гравитациялық магниттік, магниттік байыту процесстерінің қолданылуымен қайта өңдеу схемасы әзірленді және эксперименттер орындалды.

**Түйін сөздер:** жатып қалған марганец шламдары, марганец, темір, отсадқа, магниттік сепарация, шығым, құрамы, бөліп алу

**Telkov Sh.A., Motovilov I.U., Daruesh G.S., Kadyrsyzov D.S., Taubashev S.R.**  
**Research of gravitational and magnetic enrichment of aged manganese sludges**

**Summary.** researches on studying gravitational and magnetic enrichment were accomplished on technogenic tailings of aged manganese sludges, which were obtained in result of enrichment manganese ores of “Ushkatyn-III” deposit, in order to get concentrate with contain at least 38% manganese.

Material, chemical and granulometric composition of aged sludges was studied.

Experiments and schemes of recycling were done by using gravitational, gravitation-magnetic and magnetic enrichment processes.

**Keywords:** aged manganese sludges, manganese, ferrum, skimming, magnetic separation, yield, contain, elicitation

УДК 622.7.017

**Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Смолькова А.И.**

*Научные руководители - Ш.А. Телков к.т.н., доцент, ассоциированный,*

*Мотовилов И.Ю. м.т. и т., лектор*

*Казахский Национальный исследовательский технический Университет имени К.И.Сатпаева, Казахстан, г.Алматы*

*[motovilov88@inbox.ru](mailto:motovilov88@inbox.ru)*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ОТВАЛЬНЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ ХВОСТОВ ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ РУД СУЛЬФИДНОГО СОРТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЖАЙРЕМ»**

**Аннотация:** на флотационных хвостах, полученных при обогащении руд сульфидного сорта месторождения «Жайрем» выполнены исследования по подбору эффективных марок флокулянтов, их расходов при оптимальных плотностях пульпы, поступающих на сгущение.

Разработка технологии полупромышленной модели корпуса центробежного насоса из инновационных материалов	972
<b>Тұралы Н.</b> Көлбейте бағытталған ұңғымаларды бұрғылау, профильдерінің типтері және оларды қолданудың нұсқаулары	975
<b>Тұрдакымбай А.Б.</b> Автоматизированный подход к подсчету запасов полезных ископаемых с использованием геoinформационных технологий	979
<b>Токтаров А.А., Касымбаев Е.А.</b> Pushback подход при планировании этапов отработки глубоких карьеров	982
<b>Утегенова Ә.Е., Тохмолдаева Т.</b> Анализ исследований процесса классификации в воздушных сепараторах	986
<b>Утегенова Ә.Е.</b> Обоснование выбора эффективной модели карьерного автосамосвала	989
<b>Утянов А., Сарыбаев Е., Токтамисова С.</b> Повышение эффективности откачки продуктивных растворов при подземном скважинном выщелачивании на основе опыта скважинной добычи нефти	992
<b>Умирбаева А.Б.</b> Гис и космический мониторинг территории семипалатинского испытательного полигона	996
<b>Хорольский А.А.</b> Разработка и внедрение инновационных технологий для повышения эффективности эксплуатации месторождений полезных ископаемых	999
<b>Заурбеков С.А., Шахмурат М.</b> Исследования влияние конструктивных параметров винтовых забойных двигателей на их энергетические характеристики	1003
<i>Секция «Инновации в металлургии и обогащении»</i>	
<b>Balgimbayeva U.A., Abisheva Z.S., Karshigina Z.B., Bochevskaya Ye.G.</b> Prospects of lithium extraction from natural raw materials and methods of its processing	1007
<b>Алтымышбаева Ә.Ж., Байқоңурава А.О., Усольцева Г.А.</b> Изучение сорбции висмута смолами, синтезированными на основе пирокатехина	1010
<b>Абдыкпирова Г.Ж., Шаутенов М.Р., Дюсенова С.Б., Рамазанова Ж.А.</b> Проверка возможности доизвлечения марганца из техногенного сырья	1014
<b>Есимова Д.М., Кенжалиев Б.К., Суркова Т.Ю.</b> Исследование процесса подготовки продуктивных растворов для получения концентрата редкоземельных элементов	1016
<b>Еспиркегенов М.И., Чепуштанова Т.А.</b> Исследование образования отходной массы (крада) жидкостной экстракции меди	1020
<b>Кожемякин А.А.</b> Моделирование совмещенного процесса «прокатка – рку-прессование» с валками различного исполнения	1024
<b>Кривцова О.Н., Аманжолов Ж.К., Романов Р.Ю.</b> Анализ состояния качества работы ЛНГЦ ЦГЦА АО «ArcelorMittal Temirtau»	1028
<b>Линник К.А., Аманжолова Л.У., Шарипова А.С., Загородняя А. Н.</b> Шлам сернокислотного цеха Балхашского медеплавильного завода - важный полиэлементный источник на рынке сырьевых ресурсов Казахстана	1030
<b>Мурзатаев Е.А.</b> Исследование влияния режимов нагрева заготовки на напряженно-деформированное состояние металла и усилие при ковке	1035
<b>Мамбеталиева А.Р., Ералиев А.А.</b> Уранқұрамды кендерді байыту және өндеудегі экологиялық жағдайы	1038
<b>Мамбеталиева А.Р., Әбжампева Н.Б.</b> Мышыяқты экологиялық қауіпсіз сульфидтік формада шығару және пайдаға жарату	1044
<b>Найманбаев. М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А., Малдыбаев Г.К., Касымжанов К.К.</b> Получение диоксида титана из некондиционного титансодержащего сырья	1048
<b>Ниценко А.В., Касымжанова А.К., Болатбеков Б. Б.</b> Термическое разложение синтетического сульфоарсенида меди (CuAsS)	1052
<b>Нурдан М.Е., Жақатаева Н.К., Аскарлова Г.Е.</b> Производство вторичных металлов из электронного лома	1056
<b>Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Даруеш Г.С., Кадырсызов Д.С., Таубашев С.Р.</b> Исследование гравитационной и магнитной обогатимости лежалых марганцевых шламов	1060
<b>Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Смолькова А.И.</b>	

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

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

# THE RESEARCH OF GRAVITATIONAL AND MAGNETIC ENRICHMENT OF STALE TAILINGS OF MANGANESE WITH THE DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF THEIR PROCESSING

<https://doi.org/10.31643/2018-7.04>

Telkov S.A.<sup>1</sup>, \*Motovilov I.Y.<sup>1</sup>, Daruesh G.S.<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0001-6641-4802 0000-0002-0716-402X 0000-0001-6739-1569

<sup>1</sup>NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev»,  
Almaty, Kazakhstan, \*motovilov88@inbox.ru

**Annotation.** *The paper presents the results of the study of gravitational and magnetic enrichment of stale manganese tailings to determine the possibility of their processing using the process of jigging and magnetic separation. Based on the research results, worked out beneficiation schemes were using the following processes: jigging and enrichment on the concentration table; jigging and magnetic separation; magnetic separation. These schemes provide manganese concentrates with a manganese content of at least 38 %. The results showed that the highest technological parameters of enrichment of stale manganese tailings are obtained according to the scheme using only the process of magnetic separation of class 3 – 0.071 mm. An alternative technology scheme includes gravitational-magnetic enrichment processes.*

One of the main requirements to the used technologies of processing of manganese ores is the use of large-lump enrichment or so-called "sparing technologies", providing for the maximum production of large-lump concentrates [1-3].

As a rule, washing and jigging operations are used for the enrichment of manganese ores. Jigging is the main and the most cost-effective way to enrich manganese ores, due to the relatively high specific gravity of most manganese minerals (above 4 g/cm<sup>3</sup>). Jigging of manganese ores gives good results in the enrichment of relatively large classes, from about 50 to 2.5 mm. For some thinly crafted ores, enrichment on concentration tables gives good results. Existing technologies of enrichment of manganese ore allow to extract manganese from the ore into a marketable concentrate, not more than 75 %, and about 25% of the manganese remains in the sludge and in the "tails" of enrichment that for decades stored in special storage facilities – sludge tanks.

The accumulation of sludge leads to a new alienation of land for sludge storage. In addition, large flows of slurry, the processes of drainage of waste water into the soil, drying of individual sections of sludge storage significantly worsens the environmental and sanitary situation in the areas of extraction and processing of manganese ore.

In the world metallurgical practice, manganese is one of the strategic metals, because it is a necessary additive for producing high-quality grades of steel. However, the large scale of extraction of manganese ores in Kazakhstan, in recent decades, led to a reduction in proven reserves of manganese ores.

In connection with these factors, studies to determine the gravitational enrichment of stale tailings (sludge) and determine the possibility of their processing using the deposition process and magnetic separation, to obtain manganese concentrates with a manganese content of at least 38% is relevant.

At the Department "Metallurgy and mineral processing" has been performed studies of the gravitational and magnetic enrichment of stale tailings of manganese, which was developed the technological scheme of processing and identifies possible technological indicators of enrichment.

Methods of the research: granulometric analysis, fractional analysis, gravity and magnetic enrichment [4,5,6]. At the same time, research on the study of material and chemical composition was carried out on the sample of manganese tailings.

The material composition was studied by x-ray diffractometric analysis on an automated diffractometer DRON-3 with CuK $\alpha$ - radiation,  $\beta$ -filter. The following are the interplanar distances and the phase composition of the samples (table.1) and the results of semi-quantitative x-ray phase analysis (table.2), the diffractogram of the sample (Fig.1).

Table 1-Interplanar distances and phase composition of the sample

$d, \text{Å}$	$I \%$	mineral	$d, \text{Å}$	$I \%$	mineral
7.26223	12.1	caolinite	2.51932	9.7	hematite
4.25836	9.8	quartz	2.48872	15.1	-
4.02916	10.4	-	2.45642	9.6	-
3.85033	13.9	-	2.28037	18.1	-
3.67167	10.0	-	2.08940	16.4	-
3.34270	24.2	-	1.90725	15.7	-
3.19207	18.3	feldspar	1.87155	16.2	-
3.02844	100.0	calcite	1.66020	12.3	-
2.71145	27.8	Braunite, hematite	1.60112	11.5	-
2.60652	8.6	almandine	1.52210	10.6	-

Table 2 - Results of semi-quantitative x-ray phase analysis

Mineral	Formula	Concentration, %
calcite	Ca(CO <sub>3</sub> )	45.9
braunite	(Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> MnSiO <sub>3</sub>	12.6
quartz	SiO <sub>2</sub>	10.9
albite (feldspar)	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	8.2
caolinite	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	7.6
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5.0
almandine	Ca <sub>1.5</sub> Fe <sub>1.76</sub> Al <sub>1.80</sub> Si <sub>2.94</sub> O <sub>12</sub>	4.9
hematite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.8

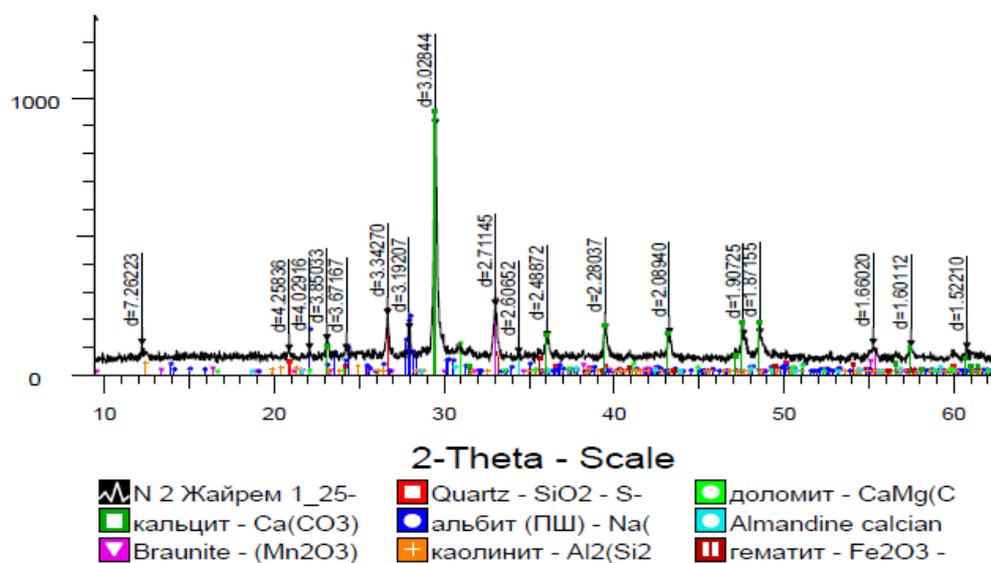


Figure 1 – The diffraction pattern of the sample

The chemical composition of the initial slurries is given in table 3.

Table 3 – Chemical composition of the original sludge

Mass proportion of elements, %													
Mn	Fe	S <sub>common</sub>	Pb	Zn	Cu	As	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Sb	Bi
17,42	5,48	0,24	0,19	0,077	0,003	0,018	13,87	2,67	23,02	1,14	0,067	0,002	0,001

The results of the study of the material composition of manganese tailings slurries showed that the mineral composition of slurries is represented by the following minerals: the main ore mineral is brownite ~12 %, which is observed both in the form of individual grains and in coalescence with quartz and calcite. Occurs hematite, rare grains of hausmannite. Non-metallic minerals make up about 60 % and are represented by calcite ~ 40 %, quartz ~ 10 %, albite ~ 6 %, rare grains of pomegranate, dolomite, kaolinite. Granulometric composition and distribution of manganese and iron content by size classes, in initial tails is given in table 4.

Table 4 – particle size distribution of the original tailings

Size classes, mm	Yield, %	Content, %		Extraction, %	
		Mn	Fe	Mn	Fe
– 3 + 1,25	26,40	17,41	4,06	25,18	20,25
– 1,25 + 0,63	29,72	18,03	5,10	29,35	28,64
– 0,63 + 0,315	17,84	18,66	6,36	18,24	21,44
– 0,315 + 0,16	12,68	20,0	6,71	13,90	16,07
– 0,16 + 0,071	5,49	20,72	6,69	6,23	6,94
– 0,071 + 0,0	7,87	16,46	4,48	7,10	6,66
Total	100,0	18,25	5,29	100,0	100,0

The weighted average content of manganese and iron according to the results of the study of granulometric composition was 18.25% and 5.29%, respectively. The principal amount of the manganese is extracted in classes 3 – 0,071 mm (machine class size 3 – 0.63 mm and 0.63 – mm 0,071).

The obtained size fractions performed mineralogical analysis, the results found a large part braunite found in the form of aggregate grains in intergrowths with quartz and carbonates in size fractions larger than 0.63 mm. In subsequent classes have a tendency to reduce the number of splices and braunite and hausmannite occur more often as a separate monomineral aggregates. Theoretically, the possible technological parameters obtained in the separation of machine classes with the density of 3450 kg / m<sup>3</sup> are shown in table 5.

Table 5 – Theoretically possible technological parameters obtained by separation of machine classes by density 3450 kg / m<sup>3</sup>

Product name	Yield, %	Content, %		Extraction from ore, %	
		Mn	Fe	Mn	Fe
Fraction + 3450 kg/m <sup>3</sup> 3–0,63 mm class	16,45	40,63	12,52	37,59	38,70
Fraction + 3450 kg/m <sup>3</sup> 0,63 – 0,071 mm class	13,09	39,28	15,06	28,92	37,05
<b>Total fraction + 3450 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>29,54</b>	<b>40,03</b>	<b>13,65</b>	<b>66,51</b>	<b>75,75</b>
Fraction - 3450 kg/m <sup>3</sup> 3–0,63 mm class	39,67	7,38	1,46	16,46	10,89
Fraction - 3450 kg/m <sup>3</sup> 0,63 – 0,071 mm class	22,92	7,57	1,58	9,76	6,81
<b>Total fraction - 3450 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>62,59</b>	<b>7,45</b>	<b>1,51</b>	<b>26,22</b>	<b>17,70</b>
<b>Ore</b>	-	<b>17,78</b>	<b>5,32</b>	-	-

According to the results table. 5, it follows that to obtain a concentrate with a manganese content of at least 38%, the required separation density will be 3100 - 3200 kg/m<sup>3</sup>.

Researches on the study of gravitational and magnetic enrichment are carried out. On the basis of the obtained results, technological schemes of processing of manganese sludges, with the production of concentrates with a manganese content of at least 38%, have been developed.

The developed schemes are shown in figures 2-4, and the obtained technological parameters are given in tables 6-8 [7].

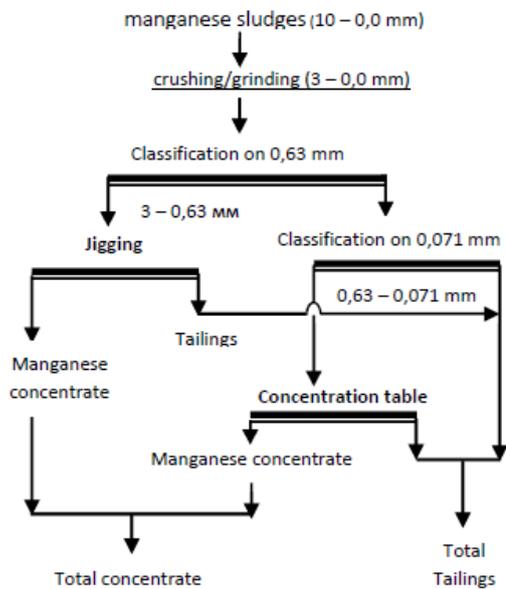


Fig.2 – Gravitational scheme of processing using the process of jigging and concentration table

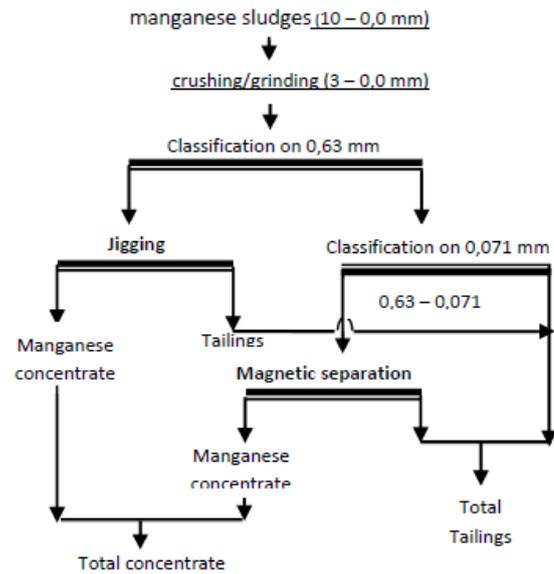


Fig.3 – Gravitational- magnetic processing scheme

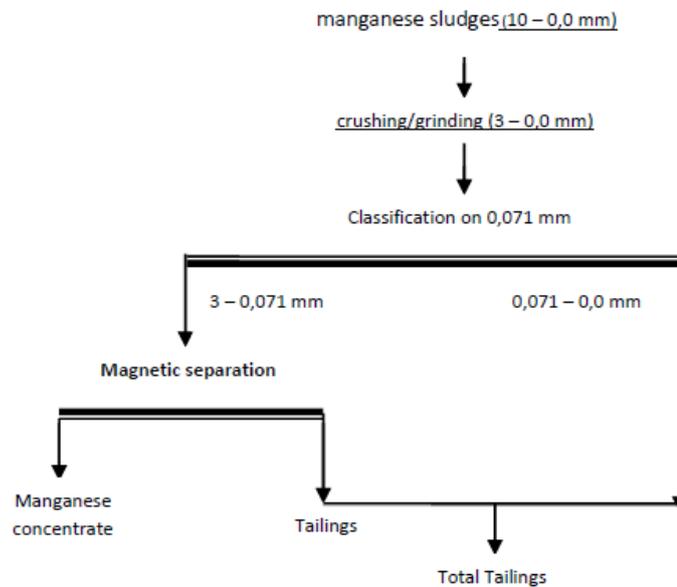


Fig.4 – Manganese sludges processing using the magnetic scheme

Table 6 – Technological parameters of the technology using the process of jigging and concentration table

Product name	Yield , %	Content, %		Extraction, %		Ratio Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
3 – 0,63 mm jigging concentrate class	16,88	38,25	12,79	36,52	38,74	2,99
0,63 – 0,071 mm concentration table concentrate class	9,12	35,3	19,86	18,21	32,50	1,78
<b>3 – 0,071 mm total concentrate class</b>	<b>26,00</b>	<b>37,22</b>	<b>15,27</b>	<b>54,73</b>	<b>71,24</b>	<b>2,44</b>
Tailings+ sludges	74,00	10,82	2,17	45,27	28,76	
<b>Ore</b>	100,00	<b>17,68</b>	<b>5,57</b>	100,00	100,00	

Table 7 – Technological parameters of the gravitational-magnetic scheme

Product name	Yield , %	Content, %		Extraction, %		Ratio Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
3 – 0,63 mm jigging concentrate class	16,88	38,25	12,79	37,28	39,5	<b>3,0</b>
0,63 – 0,071 mm magnetic separation concentrate class	14,22	38,24	8,45	31,38	22,01	<b>4,5</b>
<b>3 – 0,071 mm total concentrate class</b>	<b>31,10</b>	<b>38,25</b>	<b>10,81</b>	<b>68,66</b>	<b>61,51</b>	<b>3,5</b>
Tailings+ sludges	68,9	7,88	3,04	31,34	38,49	-
<b>Ore</b>	100,0	<b>17,33</b>	<b>5,46</b>	100,0	100,0	-

Table 8 – Technological parameters of the magnetic processing scheme

Product name	Yield , %	Content, %		Extraction, %		Ratio Mn/Fe
		Mn	Fe	Mn	Fe	
<b>3 – 0,071 mm magnetic separation concentrate class</b>	<b>32,64</b>	<b>38,41</b>	<b>7,52</b>	<b>69,47</b>	<b>45,22</b>	<b>5,11</b>
Tailings+ sludges	67,36	8,18	4,42	30,53	54,78	-
<b>Ore</b>	100,0	<b>18,05</b>	<b>5,43</b>	100,0	100,0	-

According to the developed enrichment schemes and the obtained technological parameters, the following conclusions can be drawn:

- using the jigging is possible to obtain a concentrate with a manganese content of at least 38 % only with a tight class with a fineness of 3-0.63 mm.
- using the jigging is impossible to obtain a concentrate with a manganese content of at least 38% with a wide – classified class with a size of 3-0.071 mm.
- obtaining a concentrate with a manganese content of at least 38 % from a thin class with a fineness of 0.63-0.071 mm is possible only by magnetic separation.
- the results showed that the preparation of concentrate from stale tailings (sludge), with a manganese content of 38% or more, is also possible using a magnetic separation process.

## LITERATURE

1. Mining and metallurgical complex of the Republic of Kazakhstan // Analysis, reserves, technologies. - Almaty: Information-analytical center of Geology, ecology and natural resources of the Republic of Kazakhstan, 1997.
2. Tolymbekov M. J., Svyatov. B. A. Condition of manganese in Kazakhstan and ways of its development // Collection of scientific works, Almaty, 2002, Vol. 30.
3. Telkov S. A., Studentsov V. V., Kletz A. N. Development of manganese raw material base of Kazakhstan / Scientific and practical conference / / Condition, development and problems of introduction of advanced technologies of mining and processing of ore raw materials. – Almaty, 1995.
4. Telkov S. A., Reivich I. D., Bezginova L. I., etc. Regularities of gravitational enrichment of crushed ore of the main deposits of manganese in Kazakhstan //Bulletin of KazNTU, № 3. – Almaty, 1995.
5. Leonov S. B., Belkova O. N. The study of minerals for enrichment. - Moscow: Intermetengineering, 2001.
6. GOST 4790-80. Fractional analysis method. - Moscow: Nedra, 1980
7. Telkov Sh.A., Motovilov I.Yu., Daruesh G.S., Kadyrsyzov D.S., Taubashev S.R. Investigation of the gravitational and magnetic richness of stale manganese slimes // Proceedings of the Satpaev Readings "Innovative solutions of traditional problems: engineering and technology" Almaty 2018.

- Сосипаторов А.И., Чикин А.Ю. (*Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, г. Иркутск, Россия*) Выбор оптимального технологического решения для переработки углистых золотосодержащих руд 90
- Тусупбаев Н.К. (*АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан*) Композиционные аэрофлоты для интенсификации флотации золотосодержащих руд 95
- Telkov S.A., Motovilov I.Y., Daruesh G.S. (*«Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev» NJSC, Almaty, Kazakhstan*) The research of gravitational and magnetic enrichment of stale tailings of manganese with the determination of the possibility of their processing 98
- Телков Ш.А.<sup>1</sup>, Мотовилов И.Ю.<sup>1</sup>, Барменшинова М.Б.<sup>1</sup>, Нурманова А.Н.<sup>1</sup>, Даруеш Г.С.<sup>1</sup> (*<sup>1</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан*) Определение условий использования процесса обогащения в тяжелых суспензиях для предварительного обогащения дробленых руд месторождения Шалкня 104
- Телков Ш.А.<sup>1</sup>, Мотовилов И.Ю.<sup>1</sup>, Бостандыков А.М.<sup>1</sup>, Барменшинова М.Б.<sup>1</sup>, Зеленский В.П.<sup>2</sup>, Малимбаев У.С.<sup>2</sup> (*НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан; <sup>2</sup>АО «Жайремский ГОК», Казахстан*) Изучение вещественного и гранулометрического состава окисленных свинцово-баритовых руд 109
- Агибаева Д.Н.<sup>1</sup>, Янгитилавова Б.Н.<sup>1</sup>, Нурбулатулы А.<sup>1</sup>, Буханов А.<sup>1</sup>, Аскарар А.Ш.<sup>2</sup>, Щеглов А.В.<sup>2</sup> (*<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан; <sup>2</sup>ТОО «Шокпар-Гагаринское»*) Тестирование на гравитационную обогатимость пробы золото-полиметаллической руды месторождения «Шокпар» 115
- Шалгымбаев С.Т.<sup>1</sup>, Ниязов А.А.<sup>1</sup>, Ли Э.М.<sup>1</sup>, Янгитилавова Б.Х.<sup>1</sup>, Буханов А.Б.<sup>1</sup>, Смолькова А.И.<sup>2</sup>, Шаплеин С.В.<sup>3</sup> (*<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан; ТОО «Полифлоркс», Казахстан; <sup>3</sup>ТОО «Прогресс КазИнжиниринг», Казахстан*) О возможности использования флокулянтов марки Флорам при обезвоживании продуктов обогащения золото-полиметаллической руды 119
- Ли Э.М., Янгитилавова Б.Х., Агибаева Н.Д., Нурболатулы А., Буханов А.Б. (*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*) Исследование возможности предобогащения сульфидной золото-полиметаллической руды 124
- Семущкина Л.В.<sup>1,2</sup>, Турысбеков Д.К.<sup>1</sup>, Нарбекова С.М.<sup>1</sup>, Калдыбаева Ж.А.<sup>1</sup>, Мухамедилова А.М.<sup>1</sup> (*<sup>1</sup>АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан; <sup>2</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан*) Влияние турбулентной микрофлотации на обогащение золотосодержащей руды 129