

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

Бакраева Ақбота Нұрділдақызы

Исследования по переработке золошлаковых отходов с получением полезных
КОМПОНЕНТОВ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

6M073700-Обогащение полезных ископаемых

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.7

На правах рукописи

Бакраева А.Н.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

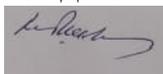
Название диссертации

Исследования по переработке
золошлаковых отходов с получением
полезных компонентов

Направление подготовки

6М073700-Обогащение полезных
ископаемых

Научный руководитель:
Профессор кафедры МиОПИ,
канд. техн. наук, доцент



Шаутенов М.Р.

«01» 07 2020г.

Рецензент:

Ведущий научный сотрудник АО
ИМИО



Семушкина Л.В.

«__» _____ 2020г.

Нормоконтроль: Доктор PhD,
ассистент профессор



Мотовилов И.Ю.

«01» 07 2020г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук



М.Б. Барменшинова

«03» 07 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ,
Кандидат технических наук



М.Б.Барменшинова

«03» 07 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Бакраевой А.

Тема: Исследование по переработке золошлаковых отходов с получением полезных компонентов

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

Срок сдачи законченной диссертации « 29 » 05. 2020г

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) исследовать вещественный и минералогический состав;
- б) исследовать гранулометрический состав и характер распределения золота и железосодержащих продуктов;
- в) разработать эффективную технологию извлечения золота и железосодержащих продуктов;

Перечень графического материала: слайды

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

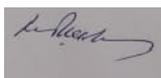
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю и консультантам	Примечание
Введение	03.02.2019	
Аналитический обзор литературы	26.02.2019	
Методика исследований	20.06.2019	
Экспериментальная часть	05.10.2019	
Заключение	14.05.2020	

Подписи

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

Наименование раздела	Консультанты И.О.Ф (уч.степень,звание)	Дата подписания	подпись
Введение	М.Р. Шауенов Профессор кафедры МиОПИ, канд.техн.наук, доцент	03.02.2019	
Аналитический обзор литературы		26.02.2019	
Методика исследований		20.06.2019	
Экспериментальная часть		05.10.2019	
Заключение		14.05.2020	
Нормоконтролер	И.Ю. Мотовилов Доктор PhD, ассистент профессор		

Научный руководитель



Шауенов М.Р.

Задание принял к исполнению

обучающийся  Бакраева А.

Дата «03» 07 2020 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию
Бакраевой Акботы Нурділдақызы

6M073700 - Обогащение полезных ископаемых

На тему: Исследования по переработке золошлаковых отходов с получением полезных
компонентов

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

Проведены исследования по переработке золошлаковых отходов с получением полезных компонентов. Работа Бакраевой А.Н. выполнена на актуальную тему, поскольку в настоящее время существует необходимость переработки техногенного сырья. Выполнен анализ технологий переработки золошлаковых отходов в странах СНГ и Республике Казахстан. Изучен вещественный и минералогический состав золошлаковых отходов, гранулометрический состав и характер распределения золота и железосодержащих продуктов. Разработана эффективная технология извлечения золота и железосодержащих продуктов из золошлаковых отходов гравитационными методами обогащения. Получен гравитационный концентрат с содержанием 1,66 г/т золота при извлечении 48 %. Магнитными методами обогащения получен черновой железосодержащий концентрат с содержанием 38,77 % железа при извлечении 31,68 %.

Переработка данного вида техногенного сырья, наряду с получением из них полезных компонентов, дает возможность снизить высокие техногенные нагрузки добывающих перерабатывающих предприятий промышленных зон, на экологически уязвимые природные системы и проживающее в них население.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в материалах научной конференции:

Шаутинов М.Р., Нурманова А.Н., Бакраева А.Н. Исследования по извлечению полезных компонентов из золошлаковых отходов //Труды Сатпаевских чтений, секция «Инновации в области металлургии и обогащения». Алматы, 12 апреля 2019 г. – С.787-791.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Проделан большой объем магистерской работы. Однако в работе можно отметить следующие замечания: анализ технологий переработки золошлаковых отходов в странах СНГ и Республике Казахстан проведен на основе литературных данных до 2010 г. Литературных источников за последние 10 лет приведено мало.

Оценка работы

Рецензируемая магистерская диссертация относится к перспективным в области переработки техногенного сырья. В целом работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям и заслуживает оценки 92 % («отлично»). Магистрант Бакраева Акбота Нурділдақызы заслуживает присуждения степени магистра по специальности 6M073700 - Обогащение полезных ископаемых.

Рецензент

Кандидат тех.наук, ведущий научный
сотрудник АО «Институт металлургии
и обогащения»


" 29 " 06 Л.В. Семушкина
2020 г.



Отзыв научного руководителя на диссертационную работу магистранта специальности 6М073700 – Обогащения полезных ископаемых Бакраева Акбота Нурділдақызы.

Тема: Исследования по переработке золошлаковых отходов с получением продуктов обогащения.

Диссертационная работа Бакраевой А.Н. посвящена исследованию по извлечению полезных компонентов из золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ, работающей на углях Экибастузского месторождения.

Переработка данного вида техногенного сырья наряду с получением из них полезных компонентов, дает возможность снизить высокие техногенные нагрузки на экологически уязвимые природные системы и проживающие в них население. Поэтому проведение исследования по переработке данного вида сырья является актуальной.

Магистрантом изучен гранулометрический состав золошлаковых отходов и распределение в них полезных компонентов в классах крупности полезных компонентов (золота и железосодержащих компонентов).

На основе гравитационных методов обогащения были проведены исследования по гравитационной обогатимости золошлаковых отходов. Гравитационным тестированием узких классов крупности на виброцентробежных аппаратах удалось извлечь в черновой концентрат золотосодержащий продукт с содержанием золота 1,65 г/т и извлечением 42% при содержании золота в данных классах 0,30 г/т. Содержание железа в черновом гравитационном концентрате составило 38,77% при извлечении 31,68% и выхода концентрата 14,53%. Перечисткой данного вида концентрата с содержанием железа до 53-58% с выходом 8-10% от операции. Выполненный объем исследовательской работы соответствует требованиям предъявляемым к магистерским диссертациям, а автор работы Бакраева А.Н. заслуживает присуждения ей академической степени магистра по специальности 6М073700 «Обогащения полезных ископаемых».

Научный руководитель
Канд.наук, профессор Шаутенов М.Р.



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: Бакраева Ақбота Нұрділдақызы

Название: Исследования по переработке золошлаковых отходов с получением полезных компонентов

Координатор: Мэлс Шаутинов

Коэффициент подобия 1: 27,4

Коэффициент подобия 2: 15,6

Замена букв: 3

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

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

Обоснование:

Обнаруженные в диссертационной работе магистранта Бакраева А.Н. заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. Работа допускает к защите 21.07.2021

Дата

Подпись Научного руководителя
Научный руководитель
М. Шаутинов

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: Бакраева Акбота Нурдлдакызы

Название: Исследования по переработке золошлаковых отходов с получением полезных компонентов

Координатор: Мэлс Шаутинов

Коэффициент подобия 1:27,4

Коэффициент подобия 2:15,6

Замена букв:3

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

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

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

Обоснование:

..... Работа выполнена полностью самостоятельно и
добросовестно.....
.....
.....

..... 08.07.2025

Дата

..... Бакраева Акбота Н.Б.

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения



АҢДАТПА

Жұмыста ТМД елдерінде және Қазақстан Республикасында күл-қож қалдықтарын қайта өңдеу технологиясына талдау жасалды.

Күл шлактардың заттық және гранулометриялық құрамы зерттелді, сондай-ақ еркін алтынның гравитациялық байыту әдістерімен бөлінуі зерттелді. Гравитациялық тестілеудің нәтижесі бойынша (-0,1+0,044 мм, -0,044+0 мм) алтынның орташа құрамы (0,3 г/т) кезінде құрамында 1,66 г/т бар гравитациялық концентратқа 48% алтын алынды.

Күл-қож қалдықтарынан темір өнімдерін магнитті байыту әдістерімен бөлу бойынша зерттеулер жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша ірілік + 2 мм -2+0 мм сыныбынан құрамында 38,77% темір бар қара концентратқа 31,68% темір алынды.

Гравитациялық-магнитті байыту әдісі негізінде алтын және құрамында темір бар өнімдерді алуға мүмкіндік беретін күл-қожды қалдықтарды қайта өңдеу бойынша байыту кешені әзірленді.

АННОТАЦИЯ

В работе выполнен анализ технологий переработки золошлаковых отходов в странах СНГ и Республике Казахстан.

Был изучен вещественный и гранулометрический состав золошлаков, а также исследовано выделение свободного самородного золота гравитационными методами обогащения. По результатам гравитационного тестирования узких классов крупности (-0,1+0,044 мм, -0,044+0 мм) при среднем содержании золота (0,3 г/т) в гравитационный концентрат с содержанием 1,66 г/т извлечено 48 % золота.

Проведены исследования по выделению железистых продуктов из золошлакового отхода магнитными методами обогащения. По результатам исследований из класса крупности + 2 ии и -2+0 мм в черновой концентрат с содержанием 38,77 % извлечено 31,68 % железа.

Разработан обогатительный комплекс по переработке золошлаковых отходов, позволяющий получать из него золото и железосодержащие продукты на основе гравитационно-магнитного метода обогащения.

ANNOTATION

The paper analyzes technologies for processing ash and slag waste in the CIS countries and the Republic of Kazakhstan.

The material and granulometric composition of ash and slag was studied, as well as the separation of free native gold by gravitational methods of enrichment. According to the results of gravity testing of narrow size classes ($-0.1+0.044$ mm, $-0.044+0$ mm) with an average gold content (0.3 g/t), 48% of gold was extracted into a gravity concentrate with a content of 1.66 g/t.

Research has been carried out on the separation of ferrous products from ash and slag waste by magnetic enrichment methods. According to research results, 31, 68% of iron was extracted from the size class $+2$ II and $-2+0$ mm into the rough concentrate with a content of 38.77%.

A processing complex for the processing of ash and slag waste has been developed, which makes it possible to obtain gold and iron-containing products based on the gravitational-magnetic method of enrichment.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	13
1 Литературный обзор.....	18
1.1 Изучение гранулометрического и вещественного состава исследуемого техногенного сырья.....	23
2 Исследования по выделению свободного и самородного золота из золошлакового отхода гравитационными методами обогащения.....	30
2.1 Исследования по гравитационному тестированию золошлакового отхода.....	30
2.2 Методика работ и применяемое оборудование.....	30
3 Исследования по выделению железистых продуктов из золошлакового отхода магнитными методами обогащения.....	54
Заключение.....	66
Список использованной литературы.....	68
Приложение А.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой проблемы и ее актуальность. На сегодня с исчерпанием запасов рудного минерального сырья, появляется надобность переработки техногенного сырья. Переработка этого вида техногенного сырья вместе с получением из них полезных компонентов, предоставляет возможность снизить большие техногенные нагрузки добывающих перерабатывающих предприятий, на экологически уязвимые природные системы и проживающие в них население.

Основание и исходные данные для разработки темы. Золошлаковые отходы Казахстана обязаны открытию крупнейшего месторождения энергетических углей в Экибастузе и строительству привязанных к нему тепловых электростанций, позволивших решить многие энергетические проблемы народного хозяйства. Гигантские угольные разрезы и дешевый карьерный способ добычи, постоянный спрос на уголь, несмотря на его высокую зольность (31-43%), привел к росту добычи угля. Общие запасы углей Экибастузского бассейна оцениваются в 11301 млн. т, что гарантирует обеспеченность сырьем на сотню лет. Каждый год при сжигании углей образуется от 25 до 38 млн. т золы и по своим масштабам накопление золы сопоставимо с природными процессами. Такими же темпами должна происходить утилизация, а накопленные ранее золоотвалы могут быть резервом для добычи полезных компонентов.

Значительные уровни накопления золота в углях привлекают к ним внимание как к потенциальному сырьевому источнику благородных металлов, в связи с чем золото в угленосных отложениях в последнее время исследуют весьма активно. Тем не менее по прежнему недостаточно изучены условия накопления золота в угольных пластах, а также причины, образования аномально высоких его концентраций. Не сформированы и представления о поведении золота при сгорании углей и его распределение в продуктах горения[1-5].

Объектом исследования является зола Степногорской ТЭЦ Экибастузского месторождения.

Предмет исследования - переработка золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ работающих на углях Экибастузского месторождения с получением полезных компонентов в виде свободного самородного золота и железосодержащих продуктов на основе гравитационных, магнитных и других методов обогащения.

Для достижения поставленной задачи необходимо решить следующие задачи:

- исследовать вещественный и минералогический состав;
- исследовать гранулометрический состав и характер распределения золота и железосодержащих продуктов;
- разработать эффективную технологию извлечения золота и железосодержащих продуктов;

Научная новизна работы. Гравитационное обогащение совершается с применением разработанных в НАО КазННТУ им. К.И.Сатпаева центробежных чашевых аппаратов, дающих увеличить извлечение тонкодисперсных частиц полезного компонента.

Практическая значимость. Разработка эффективной технологии извлечения золота и железных составляющих из золошлаковых отходов по гравитационно-магнитной схеме с гидрометаллургическим окончанием извлечения золота из продуктов обогащения.

Исходное сырье и продукты обогащения анализировались в нашей лаборатории.

Во время изучения образцов использовали метод рентгеноспектрального микроанализа с электронно-зондовым микроанализатором. Рентгено-диафрактометрический анализ осуществляли на автоматизированном диафрактометре.

Изучены гранулометрический и вещественный состав золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ и распределение в них золота и железа по фракциям. Проведенные лабораторные исследования по гравитационному обогащению материала класса крупности $-2+0$ мм показали принципиальную возможность извлечение золота (51,06%) в гравикоцентриат. Магнитным методом обогащения из класса крупности $-0,1+0,44$ мм выделен магнитный продукт с содержанием 44-47% по железу с выходом данного продукта до 51%. На базе сцинтилляционно-эмиссионного спектрального анализа (СЭСА) во всех фракциях исследуемой пробы золы получилось ввести частички не лишь только мелкозернистого золота, но и платины. Улавливание последних увеличило технологические показатели процесса обогащения.

Основными техногенными отходами ТЭС и ГРЭС являются золошлаки и дымовые газы. Для реализации летучей золы и шлаков в качестве сырья и материала, для безопасного складирования и использования золошлаков в народном хозяйстве, в различных отраслях промышленности необходимо иметь основную информацию по их свойствам и характеристике: химический состав, физические свойства, минералогический состав, физико-химические свойства, экологические характеристики, в том числе такие, как радиоактивность и токсичность. Использование золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭС на 80% приближает технологию ТЭС к безотходной [6].

В основе неиспользования ЗШО лежит четко укоренившееся представление о золе как о бросовых отходах. Использовать золу мешает интенсивное пылегрязегазообразование. Использованию ЗШО в строительстве препятствуют повышенное содержание в золе недожога и сложный гранулометрический состав.

В то же время ЗШО могут служить источником ряда металлов и элементов [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Сжигаемые угли, являясь природными сорбентами, содержат примеси многих ценных элементов, включая редкие земли и драгметаллы. При сжигании их содержание в золе возрастает в 5–6 раз и может представлять промышленный интерес [10, 14]. Широкий

комплекс компонентов, иногда в повышенных количествах, содержат бурые угли [7, 12, 15, 16, 17, 18, 19].

Известно более 300 технологий переработки и использования ЗШО [20,21], но они в основной своей массе посвящены использованию золы в строительстве и производстве строительных материалов, не затрагивая при этом извлечения из них как токсичных и вредных, так и полезных и ценных компонентов. Извлечение последних без изучения их содержания и форм нахождения невозможно.

В Республике Казахстан ежегодный выход золы и золошлаковых смесей при сжигании углей составляет около 19 млн.т, а в золоотвалах к настоящему времени накоплено более 300 млн.т отходов[6].

С точки зрения рационального природопользования ЗШМ представляет собой добытое из недр земли, перемещенное на другую территорию и недоиспользованное сырье, способное обеспечить многие нужды промышленности. Известно, что золы на 98–99 % состоят из Si, Al, Fe, O, Ca, Ti, Mg, S, K, Na. Эти элементы называют олообразующими (макроэлементами). Практически все остальные элементы периодической системы присутствуют в золе на уровне 0,1 % и менее, это микроэлементы. При сгорании угля часть микроэлементов (Sr, Ba, Sc, Y, La, Ti, Zr и др.) концентрируется в шлаке. Другие элементы (Ga, In, Tl, Ge, Sn, Pb и др.) при температурах выше 1000 °С выносятся из зоны высоких температур и конденсируются в электрофильтрах (при 110–120 °С). Можно ожидать обогащения летучей золы именно этими металлами[22].

В мировой строительной практике широко используют как неклассифицированные золы, так и золы после их предварительного обогащения или разделения на составляющие [23]. Так, золы могут использоваться для сооружения оснований дорожных покрытий, при реконструкции верхних изношенных слоев асфальта как фиксатор дегтя, смолы, гудрона, для создания планировочных насыпей и т. п. [24] Использование ЗШМ в этих целях должно быть обосновано в ходе испытаний пригодности и безопасности, с учетом механических нагрузок и погодно-климатических факторов. Необходимо оценить химическую безопасность использования зол с точки зрения загрязнения грунтовых вод вымываемыми из золы токсичными веществами. Кроме того, необходимо иметь технологии пылеподавления, исключающие загрязнение близлежащих территорий из-за уноса зольной пыли при выполнении строительных работ. Как сухая, так и влажная (из отвалов) дисперсная зола ТЭЦ широко используется для изготовления изделий из плотных или ячеистых золобетонов (стеновые блоки и панели, плиты покрытий и перекрытий) [25]. Золы используются как добавка в бетоны взамен природного материала – песка. Наибольшее распространение золобетоны получили как материал для ограждающих конструкций в виде крупных блоков для стен промышленных зданий [26]. Ограничением использования золы как наполнителя служит ее дисперсность и высокая пористость, что приводит к Зола ТЭЦ –

перспективное сырье для промышленности 143 высокой влагоемкости бетона, меньшей прочности и повышенной деформируемости. Для получения изделий заданного качества требуется выверенная дозировка золы, строгое соблюдение режимов термообработки – пропаривания и автоклавирования.

Использование ЗШМ при производстве строительных материалов регулируется нормативами (ГОСТы и ТУ), которые устанавливают такие показатели качества, как дисперсный состав, химический состав, насыпная плотность, наличие посторонних включений и т. д. Для обеспечения нужного уровня качества вводятся ограничения по объему использования ЗШМ в том или ином продукте. В конкретном производстве часто может использоваться только часть золы, удовлетворяющая требованиям. Соответствующая фракция должна выделяться и проходить дополнительную подготовку либо на площадке ТЭЦ, либо в районе золоотвала (гидравлическое разделение, классификация зольной пульпы, обезвоживание) [27]. Поскольку золы углей различных месторождений значительно различаются между собой, их использование в строительстве определяется дисперсным и химическим составом каждой золы.

Зола ТЭЦ содержит компоненты, обладающие уникальными технологическими свойствами, позволяющими эффективно использовать их во многих современных технологиях. К таким компонентам относятся алюмосиликатные и магнитные микросферы, а также несгоревшие угольные частицы. Алюмосиликатные микросферы образуются в результате расплавления минеральных компонентов, миграции расплава в виде отдельных капель и раздува последних за счет газовых включений. За рубежом микросферы находят применение в производстве керамических легких теплоизоляционных материалов, жаростойких бетонов, термопластиков, радиопрозрачных керамик, полиэтилена низкой плотности, полипропилена и многого другого [28]. В нашей стране также разработаны технологии применения микросфер как наполнителей композиционных материалов.

Микросферы экибастузского угля содержат 13 % стеклофазы, 53 % муллита, 34 % кварца. В силикатных сферах преобладают оксиды кремния, алюминия, калия. Температура плавления силикатных микросфер превышает 1350 °С. Силикатные микросферы почти в 2 раза легче воды, что является основой их эффективного гравитационного выделения. Разработано много приспособлений для выделения микросфер (декантаторы, сгустители, гидроциклоны и др.). Наименее затратный и эффективный способ выделения силикатных микросфер из золы – использование гидротехнических сооружений золоотвалов. После естественного всплывания полых микросфер на поверхность пруда их собирают. Примером такой организации золоотвалов являются павлоградские и экибастузские ГРЭС (Казахстан), которые сбрасывают золу в горько-соленые озера, находящиеся в 10–15 км от ГРЭС. Ежегодно на крупнейших ТЭЦ образуется несколько десятков

тысяч тонн алюмосиликатных микросфер, которые могли бы использоваться для получения высококачественных композиционных материалов [29].

Магнитные микросферы представляют собой глобулы размером от 5 до 300 мкм. Содержание магнитных микросфер в золах уноса составляет 3,3–16 % [30]. К образованию магнитных микросфер приводит наличие в исходном угле легкоплавких железистых карбонатов. Основным компонентом во всех магнитных микросферах является железо, содержание которого в пересчете на Fe_2O_3 достигает 88 %, т. е. ферросферы являются главным концентратом железа в составе зол уноса. В составе ферросфер преобладает магнетит с примесями ферритов магния, марганца, кальция. Есть стеклофаза, расположенная между ветвями рудных дендритов и содержащая оксиды кремния (18–38 %) и оксиды алюминия (1–12 %), остальное – примеси. Количество ферросфер в золе уноса на 1–2 порядка превышает количество силикатных полых микросфер, на каждой ТЭЦ ресурсы ферросфер составляют десятки и даже сотни тысяч тонн в год [29]. Область применения магнитных микросфер достаточно широка: от использования в качестве специфического железорудного концентрата в металлургических процессах до их эффективного применения в качестве катализаторов высокотемпературного окислительного превращения метана. Для выделения магнитных микросфер из золы могут использоваться методы сухой и мокрой магнитной сепарации. Так, в работе [29] методом сухой магнитной сепарации из золы были выделены магнитные концентраты с выходом около 30 %. Схема разделения включает следующие стадии: гранулометрическая концентрация, гидродинамическое разделение, сухая магнитная сепарация тяжелых продуктов гидродинамического разделения при напряженности магнитного поля 0.3 Тл. Такая схема позволяет получать магнитные концентраты высокой чистоты и постоянного состава.

1 Литературный обзор

Изученность золотности углей и продуктов их сгорания в странах СНГ. За почти всю историю изучения геохимии угольных месторождений набралось значительное количество информации об аномально высоких содержаниях золота в углях. Особенно многочисленны находки золотоносных углей в последние два десятилетия. Высокие уровни накопления золота в углях привлекают к ним внимание как к сырьевому источнику благородных металлов. Поэтому золото в угленосных отложениях в последнее время исследуют весьма активно. Несмотря на предпринимаемые усилия, его геохимия в углях еще почти не изучена. По-прежнему не полностью изучены условия накопления золота в угольных пластах, остаются невыясненными причины и механизмы, обуславливающие образование аномально высоких его концентраций. Высказываются различные точки зрения на природу этих аномалий. Так В.В. Серединым [31] обосновывается флюидно-гидротермальная модель накопления Au в германиеносных углях Приморья.

Концентрации золота в бурых углях Западно-Сибирской плиты. Получены новые данные о распределении золота в торфах и бурых углях юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. Известно, что среднее содержание золота в углях юрского возраста в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты существенно превышает его кларк для осадочных пород и составляет для 22 изученных углепроявлений 30 мг/т.

Металлоносность углей Сибири. Комплексное изучение металлоносности углей западно-Сибирской плиты произведено с. Арбузовым (Томский политехнический университет). Было выявлено, что угли Сибири отчетливо обогащены по сравнению с глобальным угольным кларком [32] и данными по другим регионам мира литофильными элементами, характерными для пород щелочного рода (2s, Hf, Nb, Y, лантаноидами, Ba, Sr и Be) и отдельными элементами - сидерофилами (Sc, Fe, Cr, Ni, Co). Они отличаются пониженными содержаниями элементов халькофилов (Cu, Pb, Zn, Cd, Ga, Se, Te, Hg) и отдельных литофилов (Li, Rb, V, Th), (табл. 1). Такой тип геохимических ассоциаций элементов и углей хорошо согласуется с общей геохимической специализацией интрузивно-вулканогенных и осадочных образований региона.

Исследования показали, что наиболее контрастные аномалии в углях Сибири образуют Se, As, Sr, Mo, Be, Co, Au, Sb, U, Ge, Nb, Y, Zr, Br, Hg и Cd. Многообразие обстановок угленакопления определили большое разнообразие геохимических и минералогических характеристик угольных бассейнов и месторождений. Вместе с тем, наряду со специфическими особенностями отдельных бассейнов, просматриваются и общие черты геохимической специализации углей региона, особенно отчетливые для группы редких металлов. Для всех угольных бассейнов свойственно смешанный литофильно-халькофильно-сидерофильный тип геохимической

специализации с различным соотношением геохимических ассоциаций. Этот факт согласуется с данными геохимического районирования Алтае Саянской складчатой области.

Закономерности распределения, формы нахождения и технологии извлечения золота из бурых углей Амурской области. А.П. Сорокиным и др. были выполнены исследования процессов миграции и локализации золота в кайнозойских угленосных отложениях, создание новой геотехнологической основы единого производственного цикла рационального использования энергетического сырья с попутным извлечением сопутствующих компонентов, а именно золота.

Объекты исследований. Исследования по проекту проводятся на территории Зейско-Буреинского бассейна и его обрамления - Монголо-Охотского складчатого пояса, Гонжинского, Октябрьского и Буреинского массивов. Вдоль периферии бассейна развиты крупнейшие на Дальнем Востоке золотороссыпные пояса (Южно-Тукуринский, Притуранский и др.), с которыми сопряжены угленосные площади [33]. В зонах сопряжения установлены одновозрастные палеоценовые, олигоценовые и миоценовые золотоносные и угленосные отложения, что говорит о синхронности процессов россыпе- и торфообразования в течение длительного времени.

Угленосные площади занимают вполне ясное положение по отношению к золотоносным структурам. Непринужденно сопряжены с ними неогеновые угленосные отложения (Сианчик, Свободное, Сергеевское и др.), а более древние – олигоценовые и палеоценовые (Ерковецкое, Райчихинское) размещаются ближе к центральным областям Зейско-Буреинского бассейна. В целом они образуют систему буферных зон, обрамляющих области сноса с золотоносными поясами, развитие которых происходило в обстановке «трансгрессивного» расширения областей осадко- и в т. ч. торфонакопления от осевой части бассейна к периферии, синхронно с продвижением фронта россыпной золотоносности в водотоках в обратном направлении [34].

Результаты исследований. В результате проведенных исследований было выявлено, что распределение золота неравно как по разрезу пластов угля, так и по площади изученных месторождений (Сианчик, Свободное, Сергеевское, Ерковецкое и др.). Больше всего высокая степень концентрации золота отмечается на локальных участках в зонах сопряжения золотороссыпных месторождений и угленосных отложений, вдоль границы Зейско-Буреинского бассейна с областями сноса, т. е. практически по периметру депрессии. На основании результатов пробирного анализа, установлено, что содержание золота в углях Ерковецкого месторождения колеблется в широких пределах. В массиве из 300 проб угля более половины располагаются в интервале от следов до 5 г/т, при среднем значении на пласт 2 г/т, а с учетом проб с содержаниями до 10 г/т – около 3 г/т. Проб с концентрациями металла 20 – 40 и более г/т – около 15%.

Формы нахождения золота в углях. Микроэлементный анализ углей Ерковецкого месторождения говорит о том, что золото с большинством

элементов не проявляет выраженной корреляционной связи (рис. 1). Умеренная отрицательная корреляция у Au с Br (анионообразующим литофилом). Сильная положительная связь между Au и Pt, умеренная с элементами – литофилами: катионогенными – Sr и Ba, катионо- и анионогенными с переменной – Hf, Zr и V и постоянной валентностью – Ge . Накопление данных элементов в углях в основном обусловлено концентрационной функцией растений-углеобразователей и барьерной сорбцией торфяного или бурогоугольного органического вещества. Электронно-микроскопическими и рентгеноспектральными исследованиями установлено, что золото в бурых углях представлено минеральными частицами самородного высокопробного золота и твердыми растворами Au-Ag, Au-Ag-Cu, Au-Cu (Ni, Zn) [34, 35]. Самородное золото и серебро встречаются на всех уровнях разреза угольного пласта. В верхних горизонтах преобладают Au-Ag минералы и самородное серебро, в нижних – чаще отмечаются частицы высокопробного золота. Размеры частиц золота и серебра и их твердых растворов колеблются от $n \cdot 10$ нм до 1 – 2 мкм, крайне редко встречаются отдельные индивиды с размерами 10 – 15 мкм. Наиболее часто частицы характеризуются флоккуляционной структурой различной степени уплотнения, с заполнением внутренних поровых пространств органическим веществом

Результаты изучения золотоносности углей и продуктов их сжигания Экибастуз (Казахстан). Исследования золотоносности системы «уголь-зола» на примере углей месторождения Экибастуз выполнены Ш.Б. Байысбековым, В.В. Перегудовым и Е.В. Перегудовой.

Золотоносность золошлаковых образований Казахстана. Начиная с 1998 года были изучены золоотвалы Экибастузской ГРЭС-2, Карагандинской, размытые и попавшие в р.Нура, Степногорской ТЭЦ . Во всех золошлаковых образованиях было выявлено самородное золото. При этом нужно обратить внимание, что современные золоотвалы грандиозные техногенные образования с крайне неравномерным распределением золота. По литературным данным [36] химический состав золы углей повсеместно выдержан и характеризуется высокими содержаниями тугоплавких компонентов SiO_2 и Al_2O_3 (в сумме 81 %), в небольшом количестве присутствует $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$ (5-12 %). По данным этого же автора, зола тугоплавких и неплавкая, температура плавления $1400^\circ\text{--}1600^\circ\text{C}$. Первые сведения о золотоносности золошлаковых отходов экибастузских углей и их промышленной добычи на Рефтинской ГРЭС (Россия) приводятся в работе Леонова С.Б. и др. [37], опубликованы также сенсационные данные о находках промышленных концентраций золота в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска с резким преобладанием самородного металла [38].

Зола Степногорской ТЭЦ обладают следующими характеристиками: содержание SiO_2 -57,7%, Al_2O_3 —25,1 %, CO-3,65 %, MgO-1,30 %, Fe_2O_3 —5,89 %, $S_{\text{общ}}$ - 0,15 %. Содержание углерода органического в зависимости от размерности исходного материала колеблется от 0,232 г/кг до 6,65 г/кг (рис.

4). Наблюдается присутствие нефтеподобных продуктов от 0,175г/кг до 3,30 г/кг. Среди элементов - примесей выявлены медь (20 г/т), свинец (30 г/т), цинк (20г/т). Кристаллическая фаза состоит из муллита, кварца (стекло), остатков несгоревшего углистого материала. По гранулометрическим параметрам зола Степногорской ТЭЦ резко неоднородна. На карте золоотвала в околотрубном пространстве накапливаются шлаки гравийно-галечной размерности, далее песчанистой и в центре – алевритовой.

В этом же направлении происходит увеличение содержаний органического материала и уменьшение содержаний золота. В результате проведенных исследований (обогащение на центробежных аппаратах) золоотвала Степногорской ТЭЦ [39] в 30 пробах (весом 20-40 кг каждая) в классе крупности - 2 мм золы было выявлено наличие свободного самородного золота от единичных до первых сотен знаков. Средний размер золотин (253 замера) составляет 71 х 42 х 30 мкм. Принципиально гранулометрическая характеристика золотин ничем не отличается для лежалых и текущих золоотвалов. По морфологическим признакам выделяются золотины изометрической, шаровидной и неправильной комковидной формы, присутствующие примерно в равных соотношениях (табл. 3). Цвет золота от ярко-желтого, желтого с бронзовым оттенком до желтовато-зеленовато-серого. Совместно с золотом в концентратах присутствуют сфера магнетит (от 56 мкм и более), сферы кварца, железо, белый самородный металл возможно (Pt, Pd), гипс, арсенопирит, пирит, халькопирит.

Распределение золота в карте золоотвала неравномерно, большая его часть концентрируется на сливах труб ($T:Ж=1:17$) и по руслам ручьев и водотоков, зависит от тех же закономерностей, что и для крупного золота россыпей (изгибы ручьев, повороты, перегибы поверхности, лжеплотики и т. п.). В плане ореол крупного золота, «вложен» в ореоле тонкого-пылевидного (рисунок 4). Следует еще раз подчеркнуть, что совместно с золотом выявлено большое количество сферомagnetита, но прямой количественной связи между ним и золотом не наблюдается. Просматривается связь между гранулометрическим составом золы, чем крупнее, тем больше свободного золота. Объем песчано-гравийного материала составляет 20-30 % от его общего количества в золоотвале. По данным пробирного анализа, среднее содержание золота и классе крупности +2 мм составляет 1,3 г/т, в тонких классах (-2 мм) — 0,75г/т. Валовое содержание золота-0,8 г/т. Эти данные получены при приведении технологических экспериментов на крупнообъемных пробах весом 300 – 500 кг.

Проведенные укрупненные лабораторные испытания по обогащению материала класса крупности – 2 мм на центробежных аппаратах показали принципиальную возможность извлечения золота (27 %) в гравииоконцентрат. По опыту работ измельчение материала позволит повысить извлечение не менее чем на 60 %.

Проведенные исследования с использованием современных центробежных аппаратов позволили получить следующие данные: в 30 золошлаках присутствует самородное золото, в том числе свободное; большая часть золота, находится в виде включений в кристаллических шлаковых образованиях. Объем последних 20-30 % от всего количества золошлакового материала в золоотвале; свободное самородное золото поддается обогащению на современных центробежных аппаратах, но для эффективной работы оборудования необходимо предварительное измельчение материала; валовые содержания золота в отдельных частных и крупнообъемных пробах из песчано-гравийной части золоотвала колеблются от 0,5 до 1,5 г/т и выше, в среднем составляют 0,8 г/т, судя по морфологии зерен свободного самородного золота в золошлаковых образованиях сильно выделяются антигенные (шаровидные), кластогенные (окатанные комковидные и пластинчатые) и «сульфидные» (корковидные, с отростками неправильной формы) породы.

Обсуждение результатов и практические рекомендации. Полученные данные позволяют нам сделать предварительные выводы. Таким образом, из полученных содержаний золота в шлаках и особенностей его распределения в золоотвале, истинные содержания золота в угленосной толще в 2-5 раз выше расчетных, т.е. на уровне 20-50 мг/т. Соответственно общие запасы золота возрастут от 300 до 1500 кг, при этом обращаем внимание на нахождение кластогенных или россыпных концентраций. При неравномерном распределении золота в угленосной пачке, мешающие породы которой представлены песчаниками, аргиллитами, золото может быть связано с тонкими, ленточными, быстро выклинивающимися прослоями (прибрежно-морские фации), поэтому существует вероятность пропуска при обыкновенном бороздовом опробовании. Более правильно рассматривать угольный разрез как линейный субгоризонтальный «штокверк», тогда более представительной для данного типа золотой минерализации является мегапроба (десятки, сотни тыс. т), которая позволяет усреднить и получить достоверные результаты. В этом случае зола угля является единственным представительным продуктом для идентификации золотонности углей. Поэтому полученные данные следует рассматривать как предварительные и целесообразно продолжить опробование текущих золопродуктов в непрерывном режиме работы ТЭЦ (сутки и т. д.), Далее необходимо проведение экспертных работ по выявлению прослоев с кластогенным и особенно аутигенным золотом. Может быть удастся идентифицировать их в угленосной пачке с целью последующей селективной отработки. Очень интересным фактом является обнаруженный сферомagnetит. Это не только сырье для получения железа, но и типоморфный признак сгоревших углей. По-видимому, в посткарбонное время происходило самопроизвольное возгорание углей, при перемыве золы которых переотложенных экзотических фракциях «природных пожаров» могли образовываться промышленные концентрации золота.

1.1 Изучение гранулометрического и вещественного состава исследуемого техногенного сырья

Проба для исследований была отобрана из околотрубного пространства, в зоне распространения грубозернистого, шлакового материала.

Гранулометрический состав исследуемого материала и распределение в нем золота (атомно-абсорбционный анализ) и железа по фракциям приведен в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Гранулометрический состав и распределение золота и железа по фракциям

Класс крупности, мм	Выход		Содержание		Распределение, %	
	г	%	Au, г/т	Fe, %	Au	Fe
+2	147	9,16	0,09	9,08	6,15	5,53
-2+0,25	432	26,92	0,18	15,59	36,92	58,93
-0,25+0,1	478	29,78	0,13		30,0	
-0,1+0,044	503	31,34	0,10	16,92	23,85	35,33
-0,044+0	45	2,80	0,13	4,45	3,08	0,21
Исходная проба	1605	100	0,13 (0,15)	15,00	100	100

Минеральный и химический состав пробы. При изучении минерального состава кроме микроскопических исследований применялись рентгено дифрактометрический анализы, а также учитывался химический состав на основе проведенного химического анализа. Впервые наиболее детально изучены все фракции и исходные материалы, которые приведены в таблицах 1.2-1.9 и показаны на рисунке 1.1-1.4.

Главными минералами грубозернистой части золошлаковых отходов являются муллит, магнетит, кварц с примесью гематита, кристобаллита, кальцита, гипса. В химическом составе преобладают алюминий, кремний, железо, кальций. В качестве устойчивой и значимой примеси выявлены титан, марганец, иногда хром.

Таблица 1.2 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Муллит	$Al_2(Al_{2,5}Si_{1,5})O_{9,75}$	54,7
Magnetite	Fe_3O_4	21,9
Кварц	SiO_2	16,4
Гематит	Fe_2O_3	7,1

Таблица 1.3 – Межплоскостные расстояния и фазовый состав минералов золошлаковых отходов

$d, \text{Å}$	$I\%$	Фаза
5.39482	61.3	Муллит
4.26718	69.7	Кварц
3.42804	77.1	
3.35330	96.5	
2.96411	75.3	
2.69499	68.9	Гематит, муллит
2.52684	100.0	Магнетит
2.14195	63.2	
1.70762	61.9	
1.61138	65.4	
1.60001	62.9	
1.52387	59.7	
1.48074	64.1	

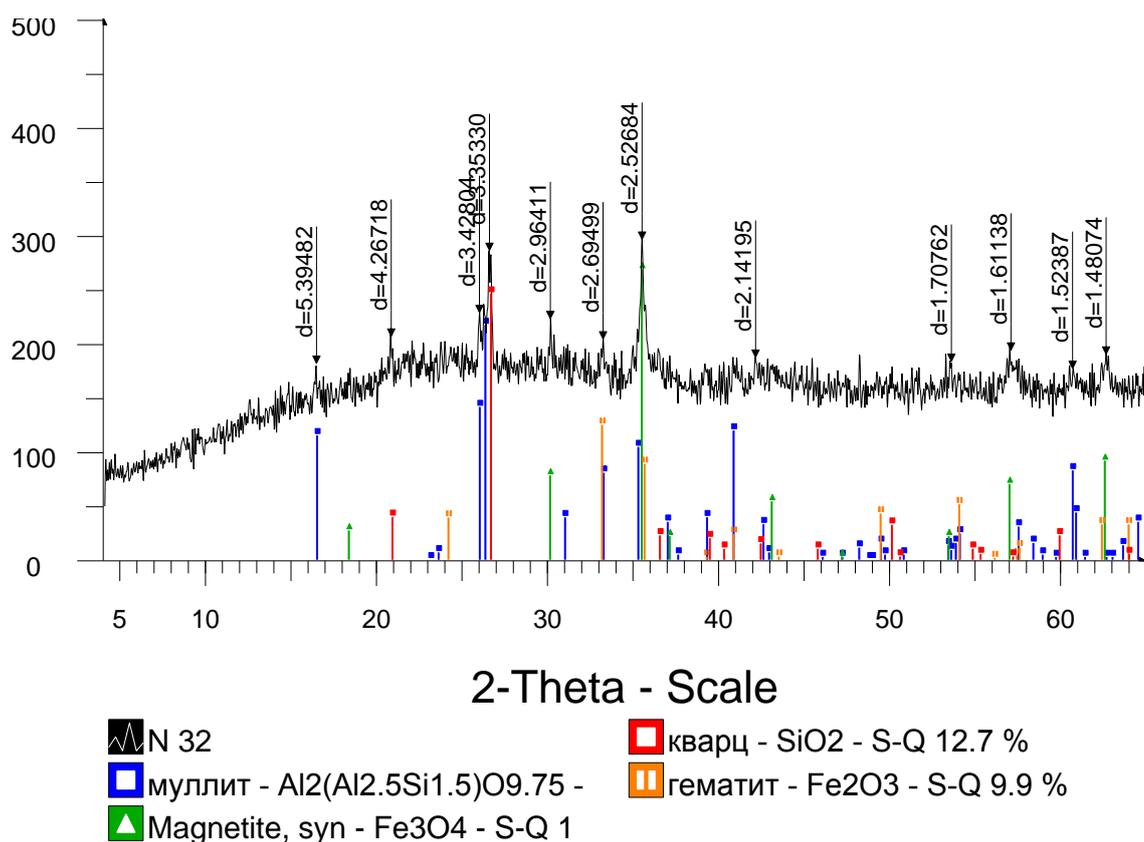


Рисунок 1.1 – Дифрактограмма минералов, слагающих золошлаковые отходы

Минеральный и химический состав золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ представлены на рисунке 1.1 и таблицах 1.2, 1.3.

Таблица 1.4 – Химический состав золошлаковых отходов. Все результаты в весовых, %

Элементы Анализы	O	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итого
Анализ 1	40,26	0,80	11,00	20,82	0,32	0,38	0,36	3,56	0,51	0,46	21,52	100,00
Анализ 2	41,91	1,03	11,36	20,03	0,24	0,31	0,57	3,29	0,58	0,44	20,24	100,00
Анализ 3	36,08	0,97	10,56	18,99	0,23	0,44	0,57	4,16	0,48	0,86	26,65	100,00
Среднее	39,42	0,93	10,97	19,95	0,26	0,38	0,50	3,67	0,52	0,59	22,80	100,00
Станд. отклонение	3,00	0,12	0,40	0,92	0,05	0,06	0,12	0,44	0,05	0,24	3,39	
Макс.	41,91	1,03	11,36	20,82	0,32	0,44	0,57	4,16	0,58	0,86	26,65	
Мин.	36,08	0,80	10,56	18,99	0,23	0,31	0,36	3,29	0,48	0,44	20,24	

Таблица 1.5 – Межплоскостные расстояния и фазовый состав минералов, крупной (+2 мм) фракции золошлаковых отходов

$d, \text{Å}$	$I\%$	Фаза
5.38959	67.7	Муллит
4.08211	74.2	Кристобалит
3.42775	82.7	
3.38381	89.3	
3.34197	100.0	Кварц
2.69925	62.9	Муллит, гематит
2.53907	68.2	
2.51720	59.3	
2.20967	58.9	
2.03089	55.6	
1.81729	53.5	
1.52192	52.7	

Таблица 1.6 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа крупной (+2 мм) фракции золошлаковых отходов

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Муллит	$Al_2(Al_{2,5}Si_{1,5})O_{9,75}$	64.8
Кварц	SiO_2	18.6
Гематит	Fe_2O_3	7.3
Cristobalite	SiO_2	5.8
Magnetite	Fe_3O_4	3.5

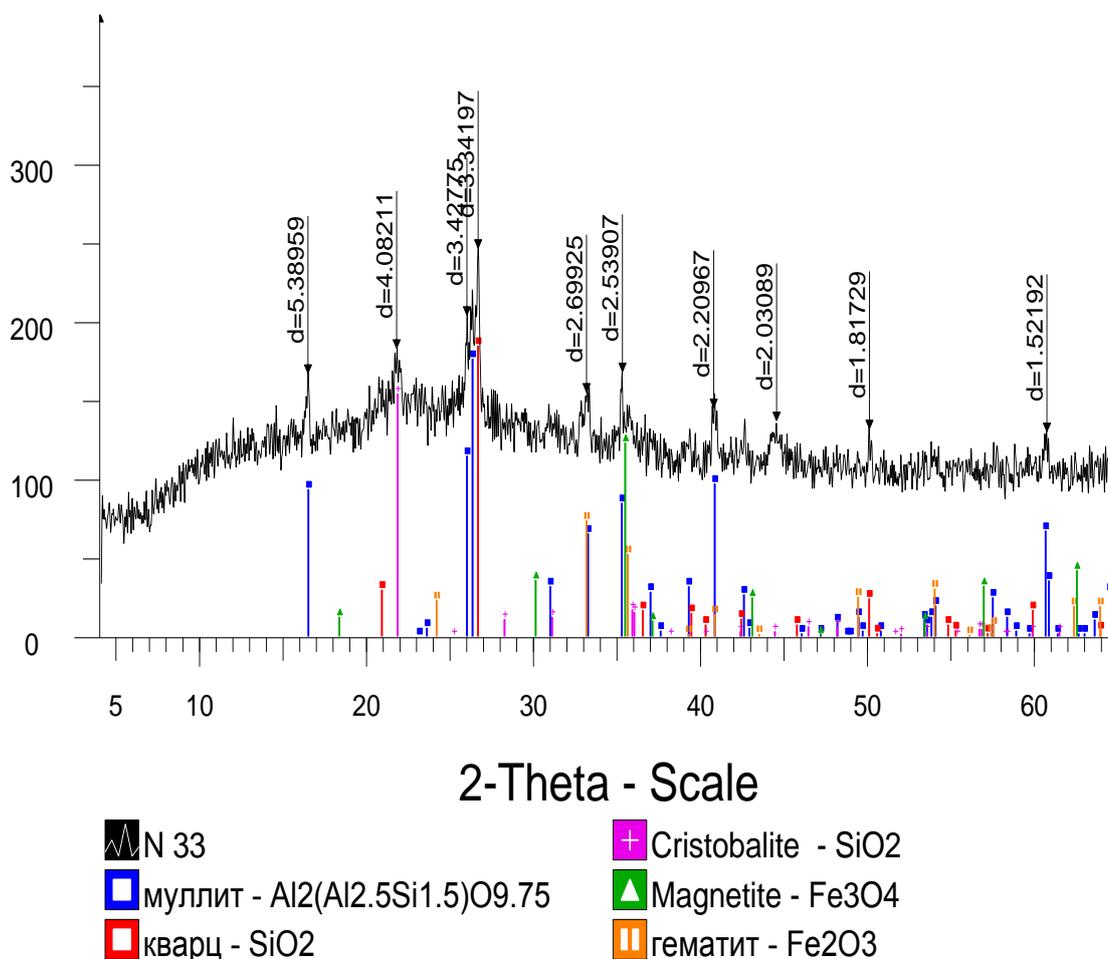


Рисунок 1.2 – Дифрактограмма минералов, составляющих крупную (+2 мм) фракцию золошлаковых отходов

Таблица 1.7 – Химический состав крупной (+2 мм) фракции золошлаковых отходов. Все результаты в весовых, %

Элементы \ Анализы	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Итого
Анализ 1	45,08	0,50	0,65	13,40	24,45	0,15	0,51	2,64	0,91	0,19	11,52	100,00
Анализ 2	47,95	0,41	0,58	12,42	24,60	0,31	0,48	2,25	0,75	0,30	9,95	100,00
Анализ 3	48,27	0,45	0,61	12,60	24,45	0,18	0,56	2,12	0,72	0,36	9,68	100,00
Среднее	47,10	0,45	0,61	12,81	24,50	0,21	0,51	2,34	0,79	0,29	10,38	100,00
Станд. отклонение	1,76	0,05	0,03	0,52	0,09	0,09	0,04	0,27	0,10	0,08	0,99	
Макс.	48,27	0,50	0,65	13,40	24,60	0,31	0,56	2,64	0,91	0,36	11,52	
Мин.	45,08	0,41	0,58	12,42	24,45	0,15	0,48	2,12	0,72	0,19	9,68	

Минеральный и химический состав крупной (+2 мм) фракции золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ, приведены соответственно на рисунке 1.2 и таблицах 1.6, 1.7.

Таблица 1.8 – Межплоскостные расстояния и фазовый состав тонкозернистой (-0,1+0,044 мм) фракции золошлаковых отходов

$d, \text{Å}$	$I\%$	Фаза
1	2	3
4.27075	57.7	
3.35021	75.8	кварц
2.96705	64.4	
2.52766	100.0	магнетит
2.13411	57.7	
2.09708	59.4	
1.61215	68.9	
1.48047	1.48047	

Таблица 1.9 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Magnetite	Fe_3O_4	55.7
Кварц	SiO_2	31.0
Муллит	$\text{Al}_2(\text{Al}_{2.5}\text{Si}_{1.5})\text{O}_{9.75}$	13.3

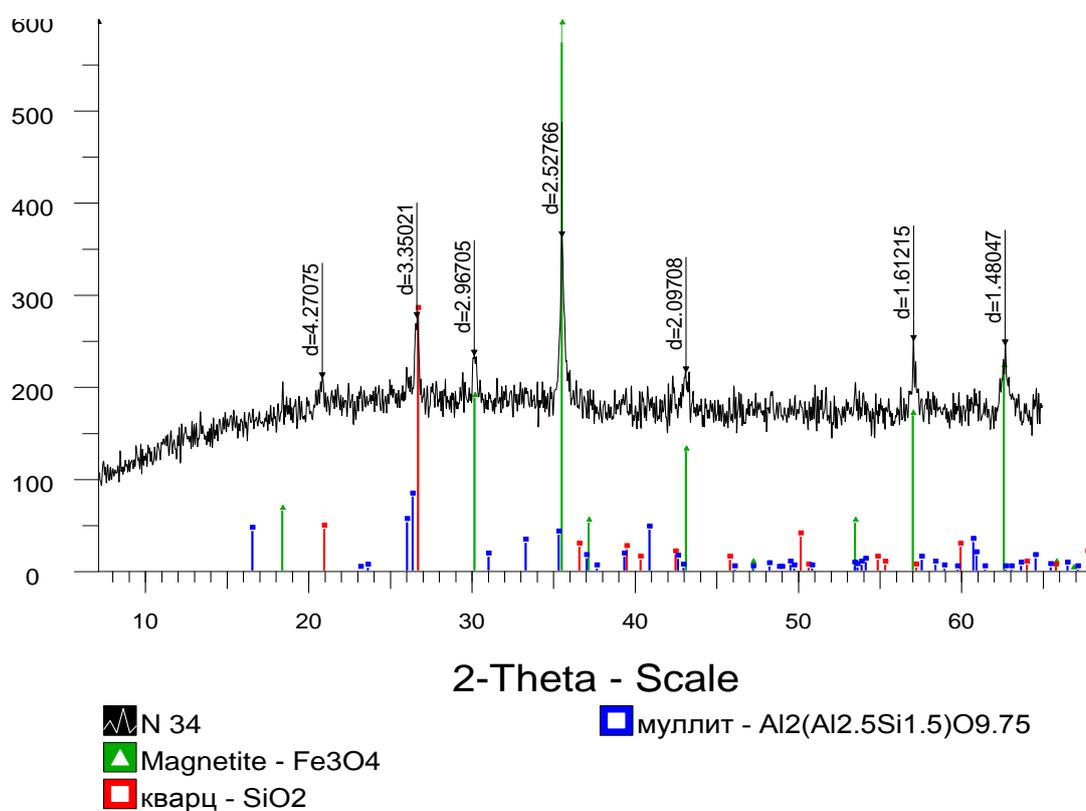


Рисунок 1.3 – Дифрактограмма минералов, слагающих тонкозернистую (-0,1+0,044 мм) фракцию золошлаковых отходов

Таблица 1.10 – Химический состав тонкозернистой (-0,1+0,044 мм) фракции золошлаковых отходов. Все результаты в весовых, %

Элементы	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Анализ 1	40,4	0,35	2,37	10,04	16,52	0,3	0,19	6,9	0,2	0,4	22,1	100
Анализ 2	43,1	0,10	1,81	9,31	17,90	0,2	0,20	5,1	0,3	0,5	21,3	100
Анализ 3	43,5	0,27	0,96	9,45	19,84	0,1	0,26	4,5	0,5	0,5	19,9	100
Станд. отклонение	1,69	0,13	0,71	0,39	1,67	0,1	0,04	1,2	0,1	0,1	1,11	
Макс.	43,5	0,35	2,37	10,04	19,84	0,3	0,26	6,9	0,5	0,5	22,1	
Мин.	40,4	0,10	0,96	9,31	16,52	0,1	0,19	4,5	0,2	0,4	19,9	

Минеральный и химический состав тонкозернистой (-0,1+0,044 мм) фракции золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ представлены на рисунке 1.3 и таблицах 1.8, 1.10.

Таблица 1.11 – Межплоскостные расстояния и фазовый состав минералов пылевидной (-0,044 мм) фракции золошлаковых отходов

$d, \text{Å}$	$I\%$	Фаза
5.38229	54.8	Муллит
4.81891	60.9	
3.42850	67.7	
3.35410	100.0	Кварц
3.03466	60.6	Кальцит
2.95836	65.6	
2.69425	59.8	Муллит, гематит
2.52647	93.6	Магнетит
1.60940	56.9	
1.48064	59.8	

Таблица 1.12 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Magnetite	Fe_3O_4	32.2
Кварц	SiO_2	29.8
Муллит	$\text{Al}_2(\text{Al}_{2,5}\text{Si}_{1,5})\text{O}_{9,75}$	17.6
Гематит	Fe_2O_3	12.3
Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	8.2

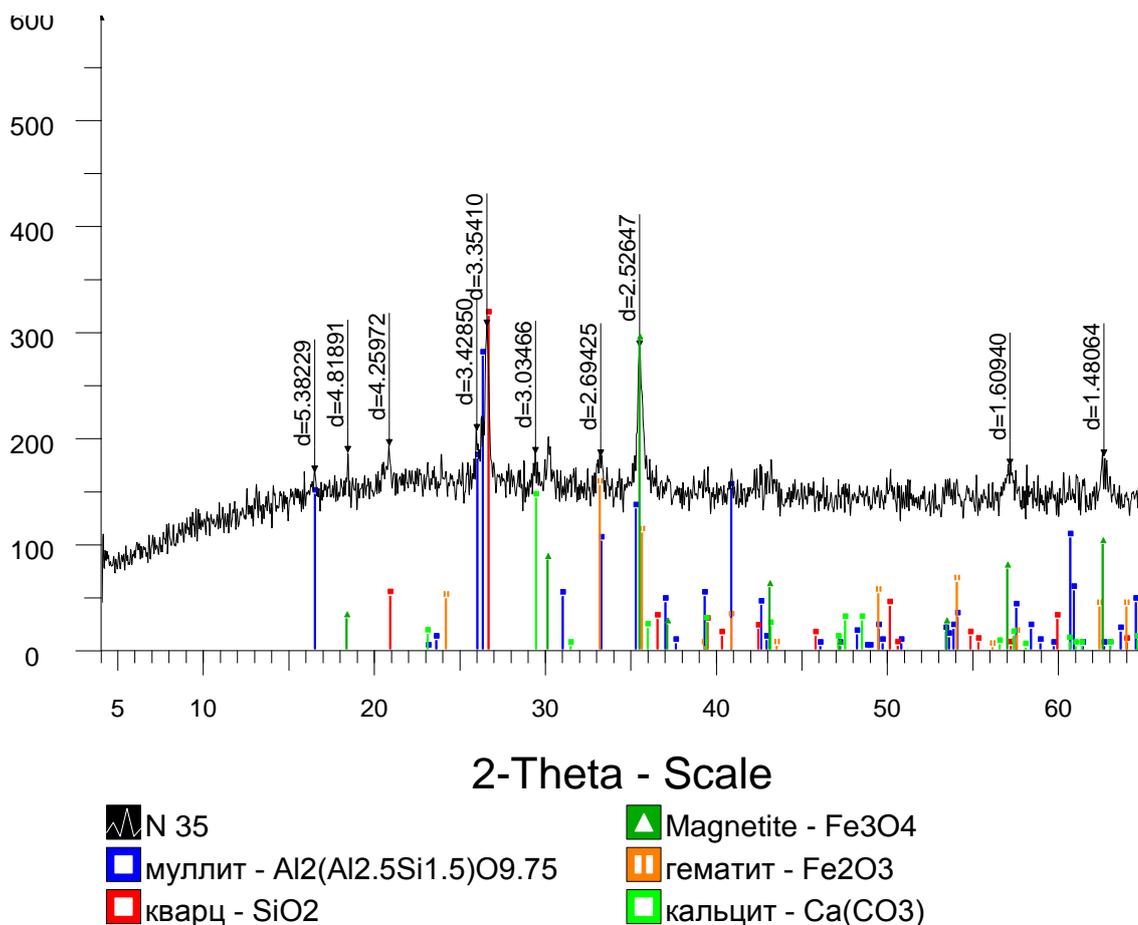


Рисунок 1.4 – Дифрактограмма минералов, слагающих пылевидную (-0,044 мм) фракцию золошлаковых отходов

Таблица 1.13 – Химический состав пылевидной (-0,044 мм) фракции золошлаковых отходов. Все результаты в весовых, %

Элементы	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	Итого
Анализ 1	53,87	0,32	0,81	11,47	22,67	0,21	0,68	3,78	0,50	5,68	100,00
Анализ 2	48,19	0,42	0,90	11,72	21,48	0,60	0,34	4,92	0,42	11,01	100,00
Анализ 3	48,51	0,76	0,73	10,71	25,72	0,80	0,75	2,62	0,56	8,83	100,00
Среднее	50,19	0,50	0,82	11,30	23,29	0,54	0,59	3,77	0,49	8,51	100,00
Станд. отклонение	3,19	0,23	0,09	0,53	2,19	0,30	0,22	1,15	0,07	2,68	
Макс.	53,87	0,76	0,90	11,72	25,72	0,80	0,75	4,92	0,56	11,01	
Мин.	48,19	0,32	0,73	10,71	21,48	0,21	0,34	2,62	0,42	5,68	

Минеральный и химический состав пылевидной (-0,044 мм) фракции золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ представлены на рисунке 1.4 и таблицах 1.11, 1.13.

2 Исследования по выделению свободного и самородного золота из золошлакового отхода гравитационными методами обогащения

2.1 Исследования по гравитационному тестированию золошлакового отхода

Выполнен дробный гранулометрический анализ и изучено распределение золота по фракциям (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Гранулометрический состав и распределение золота по классам крупности (мокрый рассев)

Класс крупности, мм	Выход		Содержание золота, г/т	Распределение золота, %
	кг	%		
+2	3,65	30,39	0,10	11,86
-2+0,25	4,80	39,97	0,37	58,50
-0,25+0,1	2,75	22,90	0,27	24,50
-0,1+0,044	0,7	5,9	0,20	3,95
-0,044+0	0,10	0,83	0,40	1,19
Исходная проба	12,01	100	0,25	100

Предварительно материал фракций прошел гравитационное тестирование на гравитационном оборудовании.

2.2 Методика работ и применяемое оборудование

Работы выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями по технологическим исследованиям техногенных образований.

- все исследования проводились на материале естественной крупности, т.е. исключалось измельчение;

- дезинтеграция, распульповка материала золошлаковых отходов (ЗШО) выполнялась как в ручном режиме на ситах, так и механическом – в скруббере;

- гранулометрический анализ выполнялся с расситовкой на классы крупности: +2 мм; -2+0,25 мм; -0,25+0,1 мм; -0,1+0,044 мм и -0,044 мм и последующим их гравитационным обогащением;

- состав слагающих золу минералов Ta, Nb, Sn определялся методом рентгеноспектрального микроанализа на электронно – зондовом микроанализаторе марки Superprobe 733 фирмы JEOL (Джеол), Япония. С помощью этого комплекса, благодаря разработкам казахстанских специалистов, стало возможным проводить анализ для неровных поверхностей минерала, выбирая локальную площадку ~5 мкм (диаметр зонда 1-2 мкм). Поиск минералов в образцах и последующий их анализ проводился В.Л. Левиным (Институт геологических наук им.К.И.Сатпаева);

- диагностика минералов и их количество в порошковых пробах из продуктов обогащения определялось рентгенодифрактометрическим анализом на автоматизированном дифрактометре ДРОН-2 с $CU_{K\alpha}$ – излучением, β – фильтр.

Применение гравитационных методов обусловлено различием в плотностях легких, слагающих (плотность 2,6-3) создающих основной фон и тяжелых, рудных (5,2-16,0) рассеяных минералов (самородное золото, магнетит и др.). Этим обусловлен выбор технологической схемы обогащения основанной на комбинации пассивных (вибровинтовой сепаратор) и аэрогидродешламатор и интенсивных (виброцентробежный аппарат) методов обогащения. На рис. 1 приведена базовая технологическая схема, применявшаяся при обогащении материала ЗШО.



Рисунок 2.1 – Базовая технологическая схема применявшаяся при гравитационном обогащении материала золошлаковых отходов экибастузских углей

Применяемое оборудование.

Виброцентробежный чашевый аппарат. Применялся для гравитационного обогащения мелко – тонкозернистого золошлакового материала крупностью -2+0 мм. Хорошо себя зарекомендовал при обогащении золото – редкометалльных песков (россыпь Аулие, Северный Казахстан, колумбит – циркониевых руд Лососевского месторождения (Сев. Казахстан) и др.). Относится к малоразмерным одностенным центробежным

аппаратам периодического действия для мокрой обработки минералого – технологических проб в геологоразведочной и горнодобывающих и перерабатывающих отраслях промышленности (рис. 2.2).

Назначение центробежного чашевого аппарата – это разделение и концентрация компонентов перерабатываемого материала в потоке воды с помощью центробежных сил и виброколебаний рабочей чаши, т.е. совмещение центробежных сил, присущих всем центрифугам и сотрясательных движений концентрационных столов. Возникает эффект «стиральной доски», создаются вибрации, носящие резкоинерциальный малоамплитудный характер, передающейся рабочей чаше. В условиях интенсивной вибрации чаши при попадании приводного колеса на канавку происходит резкий удар, способствующий быстрой сегрегации расслаивающихся частиц по плотности и размеру. В качестве компенсатора вибраций на плите вариатора установлены пружины, которые создают противоположно направленные колебания. Разнонаправленность и разноамплитудность колебаний улучшают сегрегацию минералов по плотностным свойствам в каждой рифле.

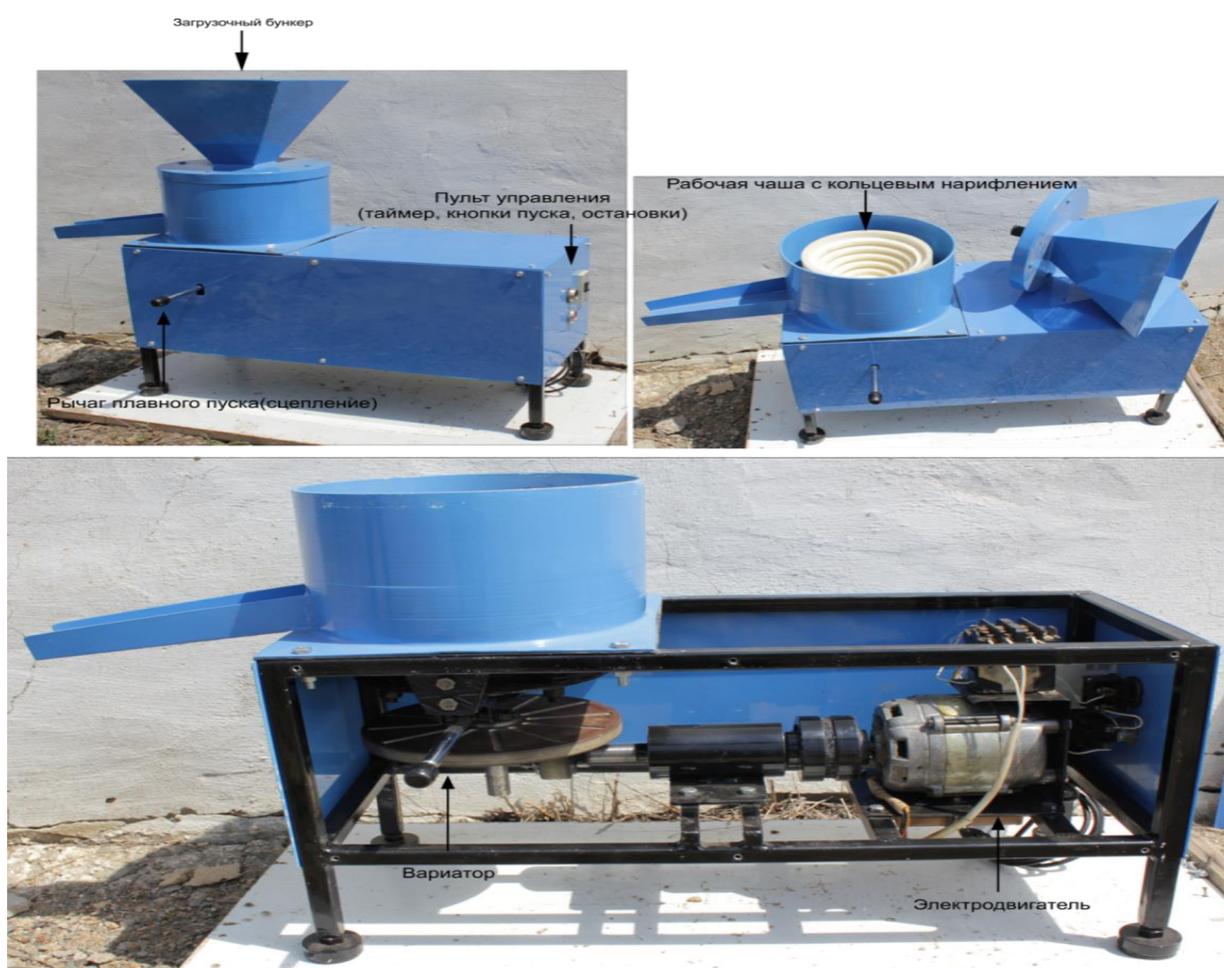


Рисунок 2.2 – Виброцентробежный чашевого аппарата (производительностью 30-60 кг/час)

Применялись лабораторные образцы производительностью от 30-60 кг/час до 1000 кг/час по твердому для извлечения свободных зерен самородных металлов (золота, платины и др.) размерностью от 10 мкм и более и других рудных минералов (магнетит, гематит) размерностью от 15-20 мкм и более.

Виброцентробежный чашевый аппарат прост в обслуживании, компактен, не требуется дополнительная смывная вода. Высокая эффективность в обогащении делает его незаменимым при проведении оперативного технологического контроля за процессами гравитационного обогащения.

Технические данные виброцентробежных чашевых аппаратов.

Техническая производительность при обработке предварительно подготовленных (продезинтегрированных) проб			
(обрабатываемого материала), кг/ч	30-60	1000	
Масса пробы по материалу за цикл, кг, не более	25	500	
Крупность питания, мм, не более	2	2	
Выход концентрата, г	9-60	3000	
Частота вращения чаши, об/мин	400-1050	200-600	
Частота колебаний, мин ⁻¹	2400-6000	1200-	
3600			
Привод исполнительного органа	электрический		
Род тока	переменный	трехфазный	-//-
Частота, Гц	50±0,2	50+2	
Напряжение, В	380	380	
Общая установленная мощность электродвигателя, кВт	0,75	3,0	
Расход воды, л/мин	2	20	
Габаритные размеры, мм, не более			
длина	750	1200	
ширина	290	650	
высота	410	800	
Масса, кг, не более	45	150	

Вибровинтовой сепаратор (стандартный винтовой сепаратор дополненный специальным вибрационным устройством, создающим вибрацию на желобах сепаратора). Применялся для улавливания из ЗШО магнетита, свободного самородного золота и сульфидов.

Техническая характеристика вибровинтового сепаратора:

- наружный диаметр желоба, мм	500
- угол подъема винтовой линии по среднему диаметру желоба	14-20°
- число витков желоба, шт	3
- расчетная производительность, кг/час	500
- плотность пульпы (% твердого)	15-40
- выход концентрата, %	7-10
- количество колебаний в минуту	800
- длина хода, мм	30

- габариты
- диаметр, мм

500



Рисунок 2.3 – Серийно выпускаемый винтовой сепаратор, дополненный вибрационным механизмом, использовавшийся при проведении технологических испытаний золошлаковых отходов экибастузских углей.

А – в статическом состоянии, Б – в работе (черное – магнетит), В – вибрационный механизм

Режимы работ вибровинтового сепаратора. Исходное питание Т:Ж=1:3-1:6, отсекаТЕЛЬ - 15 мм основной стадии обогащения и 10 мм - перечистной, подача смывной воды в пересчете на 1 тонну песка 1 м³.

Аэрогидродешламатор (АГД), нестандартное оборудование, относится к области обогащения полезных ископаемых, в частности, горно-обогатительного оборудования и может быть использован для мокрого, тонкого разделения и гидравлической классификации тонкодисперсных частиц и их сростков в движущемся водном потоке попеременно в камерах активированного воздуха. Дополнительный эффект – происходит отмыв песковой фракции ЗШО от воднорастворимых солей.

Аэрогидродешламатор позволяет максимально полно извлечь тонкодисперсные частицы или шламы и по эффективности в некоторых случаях приближается к флотации. Во всяком случае мы пытались дешламатор использовать для отбивки в слив микросфер без применения химической реagentике.

Аэрогидродешламатор представляет собой неподвижный короб из листовой стали, в верхней части которого приварен сливной порог, а нижней выпускной клапан осевшего материала.

Разделение происходит в камерах сначала в турбулентном противотоке воздушных и водяных струй грубых сростков, и тяжелых минералов (камеры 1), затем в последующей камере 2 за счет ламинарного потока пульпы происходит разделение тонких и тонкодисперсных частиц. Гидравлическая классификация осуществляется в непрерывном восходящих, криволинейно текущих потоках и происходит от крупного к мелкому классу.

В первой камере большое значение имеет размер и плотность разделяемых частиц, во второй камере главным является размер и форма частиц и характер их строения, в сливе – размер частиц. За счет аэрации пульпы в первой камере происходит минерализация пузырьков воздуха, закрепление на них тонкодисперсных шламистых (глинистых) частиц при движении пузырька снизу вверх и падении частицы вниз. Во – второй пузырьки воздуха лопают и вскрывают («очищает») зерна от пленок и корок других минералов, выполняет тонкую дезинтеграцию (1-10 мкм) минеральной взвеси и способствует осаждению более крупных зерен. В слив дешламатора поступает тонко дезинтегрированный, очищенный (облагороженный) материал (рис. 2.4).

АГД может работать в периодическом и непрерывном режиме, самостоятельно или в комбинации с другими обогатительными аппаратами (центробежные аппараты, винтовые сепараторы и отсадочные машины). В технологической цепи обогащения крупнообъемной пробы он установлен на хвостах виброцентробежного чашевого аппарата.

В слив поступает негравитируемый неизвлекаемый ни одним гравитационным аппаратом полезный компонент, который может быть извлечен только гидрометаллургическим или каким – либо другим способом.

Устройство АГД иллюстрируется на рис. 2.4.

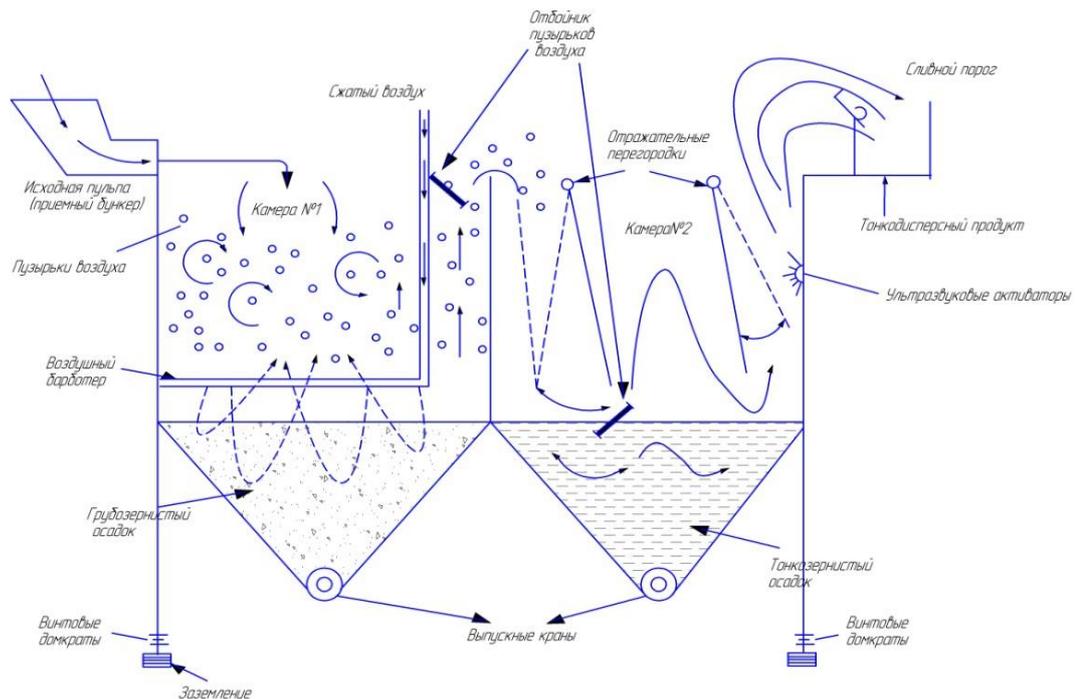


Рисунок 2.4 – Схема аэро-гидродешламатора (АГД)

Техническая характеристика использовавшегося в экспериментах аэрогидродешламатора.

Диаметр сливного порога, мм	- 150
Площадь зеркала, м ²	- 1,1
Рабочий объем камер, м ³	- 0,67
Производительность, т/ч	- 1,5-4,0
Расход воздуха; м ³ /ч	- 2-4
Габаритные размеры	
длина	- 1700 мм
ширина	- 650 мм
высота	- 1200 мм
Масса, т	- 0,12
Компрессор электрический	
Напряжение, В	- 220
Частота, Гц	- 50
Мощность, кВт	- 1,8
Скорость холостого хода, об/мин	- 2850
Объем ресивера, л	- 24/50
Производительность, л/мин	- 206/226
Максимальное давление на выходе, бар (Па)	- 8 (800000)

Конструкция аппарата

Весь аппарат представляет собой железной короб размером 1700x650x1200 мм, разделенный на 2 камеры, в которые подается водная

минеральная смесь (Т:Ж=1:3-10). Короб снабжен боковыми ручками для переноски и винтовыми основаниями (пятками) для установки угла наклона.

На лицевой боковой стороне размещены элементы управления углом наклона отражательных перегородок, которыми регулируется поток пульпы перетекающий из первой во вторую камеру и слив из второй камеры.

Отражательные перегородки и отбойники пузырьков воздуха способствует созданию вертикальных циркуляционных токов также, как при различных углах наклона лопастей мешалок.

Для взмучивания в нижней или верхних частей камеры № 2 перегородки устанавливаются с углом наклона меньше или больше 90° .

Перемешивание пульпы и разделение твердых частиц осуществляется барботированием, т. е. пропусканием через пульпу мелких пузырьков воздуха. Для этого в первой камере установлен воздушный барботер, представляющий собой три горизонтально расположенные скрепленные между собой трубы ($d=15$ мм) с 56 отверстиями ($d=1,0$ мм) в нижней части каждой (рис. 2.5). Благодаря чему воздух из отверстий преодолевает одинаковое гидравлическое сопротивление и равномерно выходит из отверстий, что способствует лучшему перемешиванию осадка в конической воронке, а нижнее расположение отверстий предохраняет их от засорения песком. Воздух подается под давлением. Частицы плохо смачиваемых водой минералов (сера, тальк, графит, сульфиды, в ряде случаев самородные металлы) прилипают к пузырькам воздуха и всплывают вместе с ними на поверхность пульпы. Хорошо смачиваемые водой частицы, окруженные прочной гидратной оболочкой, не прилипают к пузырькам воздуха и остаются в водной среде. Кстати, добавление в пульпу реагентов вспенивателей (сосновое масло и др.), обеспечивает устойчивость и длительность существования в пульпе пузырьков воздуха.

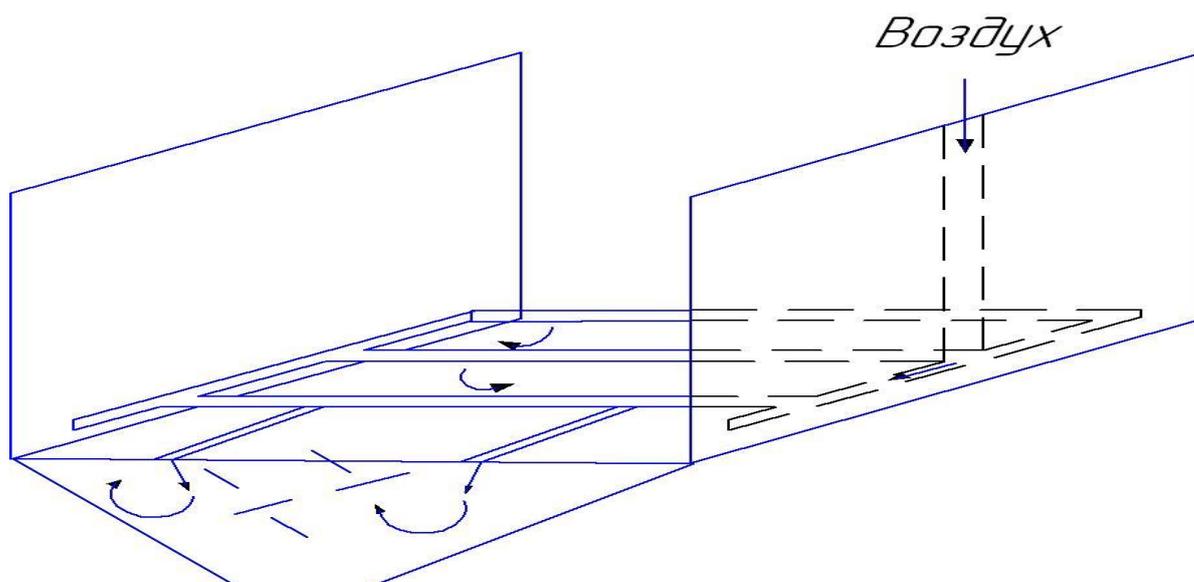


Рисунок 2.5 – Барботер

Выпуск осевшего осадка осуществляется с помощью шаровых кранов расположенных в конических днищах камер, слив отправляется через сливной порог, через который удаляются шламы.

Шламами принято называть тонкие минеральные частицы, размер которых от 15 до 500 микрон и зависит от вида сырья и способов обогащения. Флотационные шламы руд цветных и черных металлов 15 мкм, угольные меньше 500 мкм, нерудных минералов 150 мкм, в нашем случае для редкоземельных и золотых руд 44 мкм.

Следует заметить, что наиболее сложные глинистые примеси – основной источник образования шламов и относятся, как и другие сходные по пластическим свойствам, к «дисперсным минералам». При погружении в воду они распадаются на тонкие пластинки и для их осаждения необходимы специальные методы активации в частности, ультразвук.

Разделение песков в АГД восходящих потоках воды осуществляется в камерах классификаторов, производительность, которых рассчитывается по показателям работы последней камеры, из которой удаляются в слив тонкие частицы. При большом содержании тонких шламов из-зи недостаточной площади осаждения (зеркала воды) частиц в последней камере снижается производительность классификации. Обесшламливание в АГД производится по граничной крупности 0,04 мм.

Доводочный модуль использовался для перечистки и доводили концентратов винтового сепаратора и виброцентробежного чашевого аппарата. Кроме того, доводочный модуль использовался как рабочий аппарат для оперативного гравитационно – магнитного тестирования (рис. 2.6- 2.9).

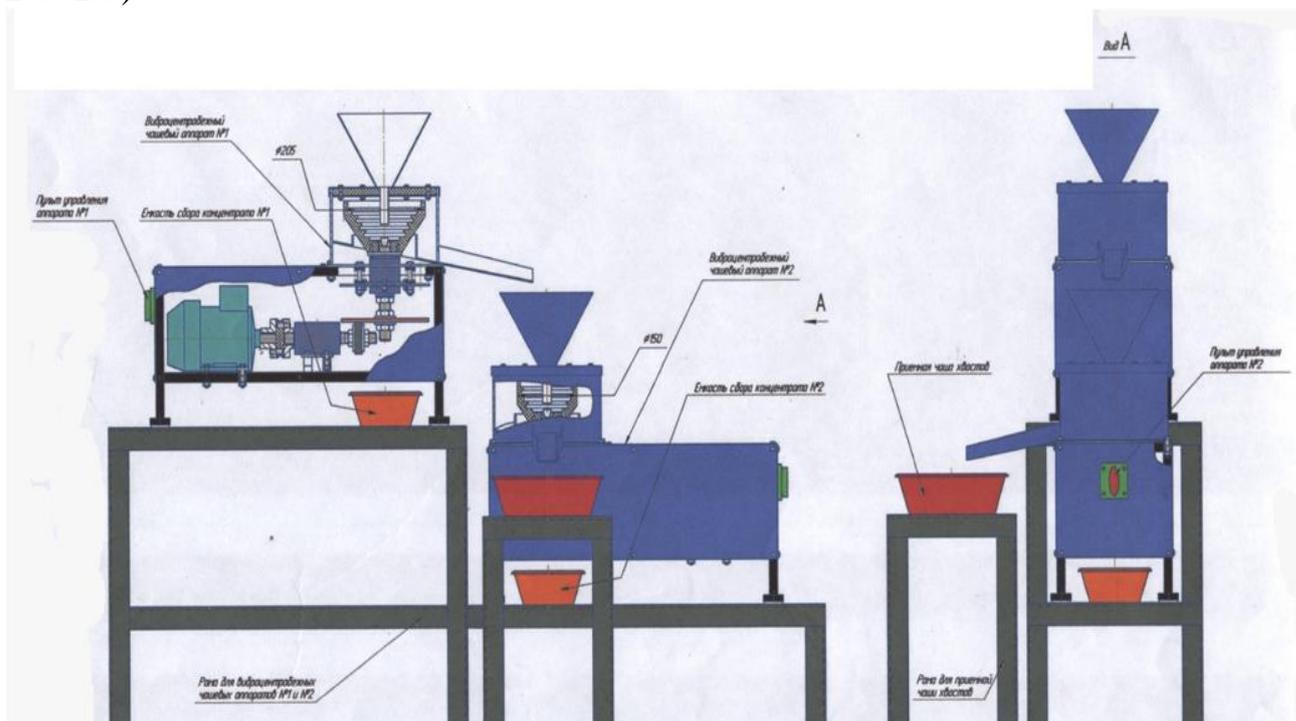


Рисунок 2.6 – Доводочный модуль

Установлен на одной раме в каскадном исполнении два малообъемных виброцентробежных чашевых аппаратов, различающихся только диаметром рабочей чаши. В голове – диаметр 210 мм и частота вращения 400 оборотов/мин (центр) и в контрольной соответственно 195 мм и 1000 оборотов/мин. Благодаря такой компоновке все крупные и тяжелые минералы извлекается в головном аппарате, а тонокие- в хвостовом.

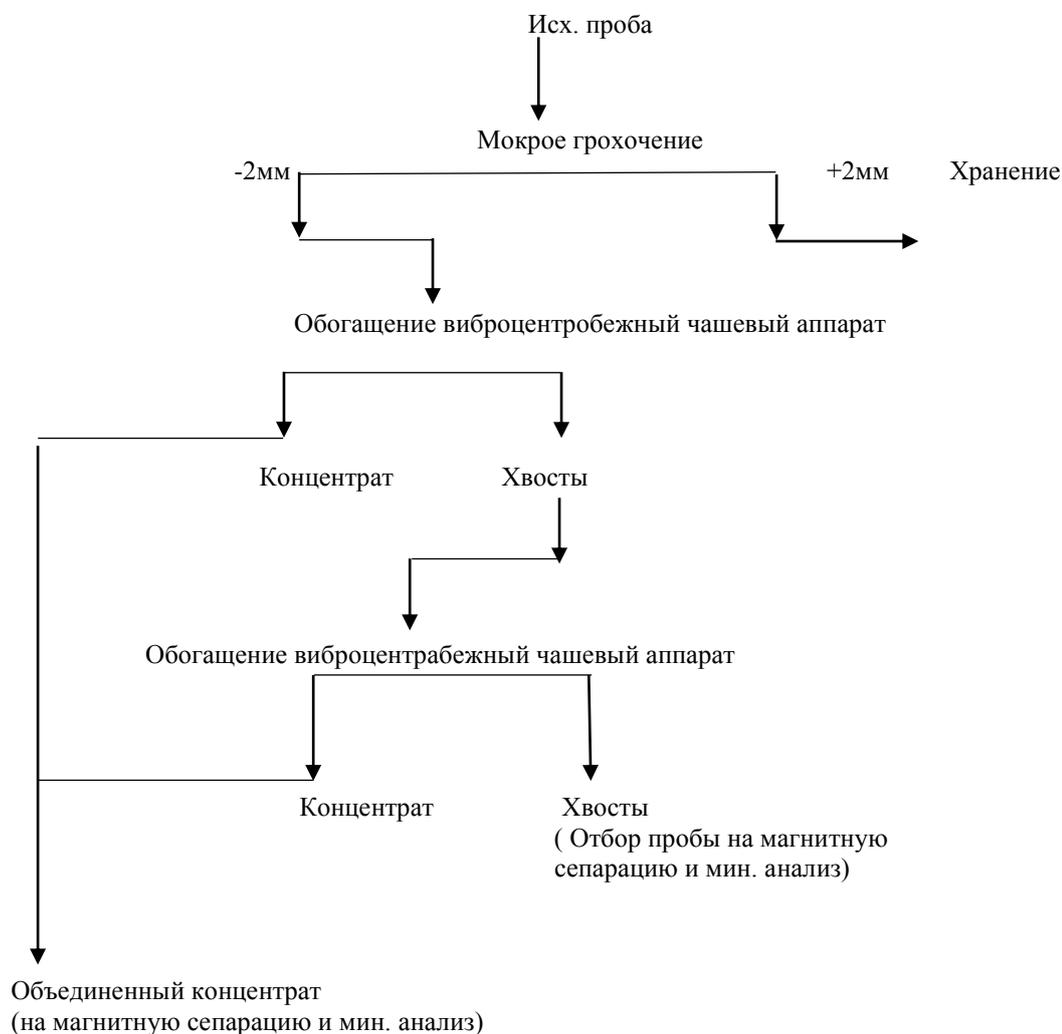


Рисунок 2.7 – Технологическая схема обработки проб на гравитационно – магнитное тестирование

Скруббер – бутарный комплекс. Рудоподготовка и классификация песков. Проводилась двумя способами – с мокрым грохочением исходных песков и подачей под давлением воды и ручной оттиркой на ситах с квадратной ячейкой 2×2 мм – и с механической мокрой дезинтеграцией в скруббер – бутаре (рис. 2.8)

Порядок работы. Исходные материал пробы взвешивается, подвергается мокрому грохочению (60 мм) и подается на дезинтеграцию сначала в скруббере, затем в дезинтегратор с импеллерными головками и бутару (барабан-грохот). В результате вращения барабана-грохота и

действия воды материал окончательно дезинтегрируется и промывается, одновременно классифицируется на три класса крупности: $-60+8$ мм; $-8+2$ мм; $-2+0$ мм

Галька крупностью $-60 + 8$ мм накапливается во внутреннем барабане и через кольцевой порог разгружается в саморядкоулавливающий шлюз и далее в отвал.



Рисунок 2.8 – Технологический процесс дезинтеграции и классификации в скруббер – бутаре материала золошлаковых отходов экибастузских углей

Техническая характеристика скруббер – бутары:

- производительность материала, $\text{м}^3/\text{час}$ – 0,5-1,0
- расход воды на 1 м^3 песков, $\text{м}^3/\text{час}$, не более – 8,4
- частота вращения барабана - грохота, об/мин – 28
- угол наклона барабана - грохота – 2°
- эффективность грохочения, % не менее – 90
- степень дезинтеграции, % не менее – 90
- выход концентрата эфельного шлюза, $\text{см}^3(\text{л})$ – 1500(1,5)
- общая установленная мощность двигателей, кВт – 14
- габаритные размеры, мм, не более:
 - Ширина – 1300
 - Высота – 2025
 - Длина – 5200
- масса, кг, не более – 1500

Материал крупностью $-8 + 2$ мм частично накапливается в кольцевом пространстве барабана-грохота и через щели в задней обечайке поступает на

эфельный шлюз, а материал крупностью $-2 + 0$ мм вместе с водой попадает в разгрузочный бункер и насосом подается для дальнейшего гравитационного обогащения на вибровинтовом сепараторе и центробежных аппаратах.

Магнитную сепарацию проводили на ручных магнитных щупах, собранных из Nd-Fe-B магнитов, характеристика которых описана в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристика магнитных щупов

Характеристика магнитного поле	Щуп №1	Щуп №2	Щуп №3	Щуп №4
Магнитная индукция	100 мТл	200 мТл	300 мТл	400 мТл
Напряженность магнитного поля	80 кА/м	160 кА/м	240 кА/м	320 кА/м
	1000 Эрстед	2000 Эрстед	3000 Эрстед	4000 Эрстед

Диапазон магнитной индукции на рабочей поверхности щупов (цилиндрической формы) варьирует 100 мТл до 400 мТл, что позволяет извлекать как сильно, так и слабо магнитные частицы на любом размере исследуемого материала.

Магнитный продукт взвешивается, определяется содержание магнитной фракции (выход) и рассчитывается извлечение.

Оптическим методом под микроскопом определяется состав присутствующих в магнитной фракции минералов.

Танталит и колумбит при косом освещении и в отраженном свете (рис. 12, 13) проявляет внутренние красные рефлекс, для их усиления можно прокалить и с помощью их определить их количество.

Можно также, предварительно взвесив магнитную фракцию (рис. 11), растворить ее в 50% - ной соляной кислоте с кипячением в течение 5-10 мин. При этом магнетит, гидроокислы Mn, Fe полностью растворятся. Остаток после растворения взвешивают. По разности между весом фракции до растворения и нерастворимым остатком принимают за вес магнетита, оксидов Mn, Fe.

Таким образом, при проведении минералого – технологических исследований были задействованы все доступные методические приемы изучения ЗШО минерализации, аппаратные достижения по гравитационному обогащению. Все собранное оборудование для экспериментов в технологическую схему цепи аппаратов является моделью будущего промышленного комплекса для переработки хвостов (рис.2.13)

Проведены исследования по гравитационному обогащению на каскаде виброцентробежных чашевых аппаратов, позволяющих извлекать практически все свободное самородное золото, если конечно оно есть, крупнее 10 мкм (таблица 2.3). Как видно из приведенных данных, содержание золота во всех фракциях невысокие 0,1-0,4 г/т, концентраты низкокачественные и низкие показатели извлечения золота, все это

свидетельствует об отсутствии свободного самородного золота и преимущественное нахождение его связанной, тонковкрапленной форме. На неоднородность распределения свободного самородного золота в золошлаковых отходах, также указывают данные таблицы 2.3. Свидетельством этого является изученная нами проба.

Таблица 2.3 – Золошлаковые образования. Результаты гравитационного тестирования материала узких классов крупности на золото

Номер пробы	Продукты обогащения	Выход		Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
		кг (г)	%		
1	2	3	4	5	6
+2 мм (измельчен 100% от -0,074 мм)					
Ш-8	Концентрат	(20)	8,33	0,10	7,48
Ш-9	Хвосты	(240)	91,67	0,03	92,52
Исходная проба		(280)	100	0,10	100
-2+0,25					
Ш-6	Концентрат	0,08	1,67	0,32	1,35
Ш-7	Хвосты	4,72	98,33	0,37	98,65
Исходная проба		4,80	100	0,37	100
-0,25+0,1					
Ш-4	Концентрат	0,1	3,60	0,09	4,29
Ш-5	Хвосты	2,65	96,40	0,27	95,71
Исходная проба		2,75	100	0,27	100
-0,1+0,044					
Ш-2	Концентрат	0,1	13,80	0,59	40,0
Ш-3	Хвосты	0,61	86,20	0,14	60,0
Исходная проба		0,71	100	0,20	100
-0,044					
	Концентрат	(8,2)	8,2	2,73	56,0
Ш-1	Хвосты	(92,8)	92,8	0,19	44,0
Исходная проба		(100)	100	0,40	100



Рисунок 2.9-Редкоземельные магнитные щупы



Рисунок 2.10- Магнитный продукт



Рисунок 2.11 – Оптический микроскоп – исследования в проходящем и косом освещении



Рисунок 2.12 – Оптический микроскоп для исследования в отраженном свете

Для усиления эффекта гравитации была проведена магнитная сепарация продуктов обогащения (концентрата и хвостов). Магнитную сепарацию осуществляли с помощью редкоземельных магнитов (щупах) Nd-Fe-B состава с магнитной индукцией на поверхности 100 мТл, которая соответствует напряженности магнитного поля 80 кА/м или 1000 Эрстед. Это относится к слабым магнитным полям, что позволило нам извлечь сильно магнитный магнетит. Результаты исследований приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Золошлаковые образования. Результаты магнитной сепарации материала узких классов крупности на золото продуктов гравитационного обогащения

Исходный материал	Продукты гравитационного обогащения	Выход, %	Содержание Au, г/т	Продукты магнитной сепарации	Выход		Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
					г	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
-2+0,25 мм								
Класс крупности - 2+0,25 мм	Концентрат	1,67	0,32	Магнитный	32	53,33	0,19	31,08
				Немагнитный	28	46,67	0,48	68,92
				Исходный концентрат	60	100	0,32	100
	Хвосты	98,33	0,37	Магнитный	62	1,27	0,03	0,10
				Немагнитный	4658	98,73	0,38	99,90
				Исходный концентрат	4720	100	0,37	100
-0,25+0,1 мм								
Класс крупности - 0,25+0,1 мм	Концентрат	3,60	0,09	Магнитный	42,5	61,15	0,03	20,45
				Немагнитный	27,0	38,85	0,18	79,55
				Исходный концентрат	69,5	100	0,09	100
	Хвосты	96,40	0,27	Магнитный	87	3,28	0,10	1,09
				Немагнитный	2564	96,72	0,28	98,91
				Исходный концентрат	2651	100	0,27	100
-0,1+0,044 мм								
Класс крупности - 0,1+0,044 мм	Концентрат	13,80	0,59	Магнитный	81,1	84,22	0,49	69,53
				Немагнитный	15,2	15,78	1,15	30,47
				Исходный концентрат	96,3	100	0,59	100
	Хвосты	86,20	0,11	Магнитный	60	7,39	0,44	30,18
				Немагнитный	552	92,61	0,08	69,82
				Исходный концентрат	612	100	0,11	100
-0,044+0 мм								

Продолжение таблицы 2.4

Исходный материал	Продукты гравитационного обогащения	Выход, %	Содержание Au, г/т	Продукты магнитной сепарации	Выход		Содержание золота, г/т	Извлеченное золото, %
					г	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Класс крупности - 0,044 +0 мм	Концентрат	8,2	2,73	Магнитный	4,5	54,88	0,45	9,16
				Немагнитный	3,7	45,12	5,50	90,84
				Исходный концентрат	8,2	100	2,73	100
				Хвосты	92,8	0,19	Магнитный	5,7
Немагнитный	54,3	90,50	0,06				27,84	
Исходный концентрат	60,0	100	0,19				100	

Приведенный материал (таблицы 2.2, 2.3) показывает, что практически все золото связано с грубыми классами, которым соответствуют низкие показатели его извлечения в гравеоцентрат, не превышающие 4-7%. Высокие показатели достигнуты от 40,0 до 56,0% для тонких -0,1 мм классов крупности, выход которых оказался минимальным (до 10%).

Не смотря на это, магнитной сепарацией продуктов гравитационного обогащения удалось усилить полезный сигнал по золоту. Как следует из приведенных данных в таблице 2.4, в большинстве случаев повышенные содержания золота отмечаются в немагнитной фракции, иногда превышающие на порядок таковые в магнитной фракции.

Оптической микроскопией не удалось выявить в продуктах магнитной сепарации свободного самородного золота. Содержание общего золота независимо от размерности золошлаковых образований примерно одинаковые – 0,2-0,4 г/т, указывающие на тонковкрапленное, тонкодисперсное его нахождение.

Итогом проведенных исследований следует считать, что показатели гравитационного обогащения золошлаковых образований зависят не столько от их гранулометрического состава, сколько от формы нахождения золота и в первую очередь свободного самородного в них.

В связи с этим нами были проведены контрольные исследования по гравитационному обогащению грубоклассифицированного материала по

короткой (+2 мм и -2+0 мм) и по длинной схеме с классификацией на скруббер – бутаре и разделением хвостов гравитационного обогащения на песковые и тонкие шламистые фракции.

Контрольные испытания по короткой схеме с использованием в голове процесса вибровинтового сепаратора с контрольным обогащением хвостов на виброцентробежных чашевых аппаратах на материале естественной крупности позволили получить довольно высокие показатели извлечения золота (51,06%) от класса крупности минус 2+0 мм (табл.2.4). Показательно, что более третьей части железа извлекается попутно. Минеральной формой железа является сферомagnetит. Если содержание магнетита в концентрате вибровинтового сепаратора составляет 77% и только 23% кварца, то в хвостах обогащения магнетита – 33,1% и примерно столько же кварца (28,9%).

Таблица 2.5 – Результаты контрольного обогащения золотосодержащих золошлаковых образований естественной крупности на вибровинтовом сепараторе и виброцентробежных аппаратах (Казахстанская разработка)

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание		Извлечение	
		золота, г/т	железа, %	золота	железа
+2 мм	11,11	0,25	10,38	11,23	6,47
-2+0 мм Концентрат вибровинтового сепаратора	14,53	0,77	38,77	41,20	31,68
Концентрат виброцентробежных чашевых аппаратов	0,94	1,11	16,64	3,75	0,90
Хвосты	73,42	0,16	14,76	43,82	60,94
Исходная проба	100	0,27	17,77	100	100

Получены зернистые и высокотехнологичные продукты доводки концентратов вибровинтового сепаратора и виброцентробежного чашевого аппарата позволила увеличить содержание золота в концентрате доводки соответственно до 247,15 г/т и 33,90 г/т при высоком извлечении (таблица 2.5).

Таблица 2.6 – Результаты доводки золотосодержащих концентратов вибровинтового сепаратора и виброцентробежных аппаратов на виброцентробежном чашевом аппарате

Продукты обогащения	Выход		Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
	г	%		
Доводка концентрата вибровинтового сепаратора				
Концентрат доводки	4,5	0,26	247,15	83,12
Промпродукт	1700	99,74	0,13	16,88

Продолжение таблицы 2.6

Продукты обогащения	Выход		Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
	г	%		
Концентрат вибровинтового сепаратора	1704,5	100	0,77	100
Доводка концентрата виброцентробежного чашевого аппарата				
Концентрат доводки	1,5	1,34	33,90	40,54
Промпродукт	110	98,66	0,67	59,46
Концентрат вибровинтоцентробежного чашевого аппарата	111,5	100	1,11	100

Таким образом, получены вполне удовлетворительные данные по золоту. Из материала естественной крупности золошлаковых отходов из «околотрубного» пространства (место слива из трубы в золоотвал) достигнуты следующие показатели (табл.2.6).

Полученные данные после проведения контрольного эксперимента по данной схеме могут быть приняты за основу создания промышленной установки по переработке золоотвалов.

Таблица 2.7 – Окончательные результаты гравитационного обогащения на золото ЗШО экибастузских углей

Тип материала	Выход, %	Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
Гравийной размерности шлаки (+2 мм)	11,11	0,25	11,23
Песчанистой размерности золошлаковые отходы (-2+0 мм): - гравитируемое золото на вибровинтовом и центробежных аппаратах, - хвосты обогащения	15,47	0,79	51,06
	73,42	0,16	43,82
Исходные	100	0,27	100

Исследования по выделению свободного и самородного золота и его изучению в гравитационных продуктах обогащения.

Изучение золота проводилось по двум направлениям – прикладном, с характеристикой золота необходимой для разработки технологии его извлечения с применением россыпного опыта и академическом – рассмотрения условий образования золота при высоких температурах в котлах ТЭЦ – как модель некоторых природных процессов формирования месторождений золота, алмазов, платины и др.

В золошлаковых образованиях золото распределено крайне неоднородно. Свободное самородное золото сосредоточено на сливах труб и

растекающихся от них к центру золоотвала отложениях ручьев. В остальных частях золоотвала преобладает тонкодисперсное, связанное золото, которое ничем не отличается от рудного.

Таким образом, в зависимости от места взятия пробы можно заранее предсказать результат – будет или нет встречено свободное самородное, либо будет преобладать связанное золото. Первое, может быть отнесено к россыпному и характеризуется присущими для всех россыпей невыдержанными параметрами и неравномерным распределением металла в отложениях ручьев. Скорее всего будет струйчатое строение таких техногенных россыпей с обогащением нижних частей. Золото преимущественно тонкое с диаметром зерна 50-70 мкм, высокопробное. В качестве основной примеси присутствуют серебро (3-5%), в значительно меньших количествах содержится медь, цинк.

Неотъемлемым спутником свободного самородного золота является сферомagnetит, а на породном уровне – присутствие шлаков, выход которых составляет в среднем 10-20%.

Изучение тонкодисперсного золота проводилось (в полученных нами пробах концентрата и хвостов обогащения) в ФГБУН Институт геологии и минералогии Сиб. Отд. РАН (Новосибирск) кинетическим спектральным способом. Почему столь пристальное внимание к этому способу, т.к. он оперативен и главное, дополняет наши разработки улавливания частиц свободного золота до 10 микрон, а он дает возможность определить частицы связанного золота до 0,1 и меньше микрон.

Способ регистрации атомно – эмиссионных спектральных линий (благородных металлов) от отдельных частичек пробы, так называемый стинциляционный эмиссионный спектральный анализ (СЭСА), разработан в самом начале 60-х г. прошлого века.

Аналізу подверглись три пробы из продуктов обогащения золошлаковых отходов и для сравнения, как нам кажется, близкого по условиям образования одна проба руды технических алмазов месторождения Кумдыколь.

- Проба 1 – хвосты обогащения на центробежных аппаратах (рис. 2.1). Содержание Au данные атомно – абсорбционного анализа – 0,16 г/т. Сцинтиляционный метод – 0,32 г/т.

- Проба 2 – концентрат вибровинтового сепаратора (рис. 2.2), содержание золота – 0,77 г/т (А-А). Сцинтиляционный метод – 7,3 г/т.

- Проба 3 – концентрат виброцентробежных аппаратов (рис. 2.3), содержание золота – 1,1 г/т (А-А). Сцинтиляционный метод – 8,9 г/т.

Результаты получились хорошие, в хвостах обогащения содержание Au близкие – 0,16 и 0,32 г/т, а в концентратах различаются – это объясняется крайне неоднородным распределением золота и, по-видимому, является указанием на присутствие каких-то пока неизученных фаз золота (золотоорганические или что-то в этом роде). Самое важное – мы получили количественное выражение число частиц золота, находящихся в связанной

форме. (Все свободное самородное золото нами было удалено из пробы и на анализ не попало). Это является главным достижением, ради чего и выполнялись анализы!

Таким образом, золотоносность золы можно будет оценивать по двум показателям – по количеству как свободного самородного, так и связанного золота.

Близкие по форме и содержанию результаты были получены нами по рудам технических алмазов месторождения Кумдыколь (Сев. Казахстан). Кстати, это первые результаты о наличии тонкодисперсного золота, которое было пропущено при разведке на алмазы месторождения. Полученные нами данные могут быть основанием для переоценки на золото ныне «законсервированного» единственного в Мире и уникального по содержаниям и запасам мелких – тонких алмазов месторождение.

Проба №6 – Кумдыкольское месторождение алмазов, «кальцифир» по эклогитам по нашим данным содержание в концентратах от 3 до 10 г/т (рис. 2.4), получили – 7,2 г/т.

Таким образом, первые результаты оказались интересными и как нам теперь представляется их нужно проводить в комплексе обычного минералогического анализа на Au, рядовых геологических проб электронной микроскопией и сцинтиляционным методом на продуктах гравитационного обогащения и, возможно, с определением золота в кеках выщелачивания.

Главный вывод – сжигание углей в топках ТЭЦ в потоке газовых струй приводит к массовому образованию самородного золота и других металлов в широком гранулометрическом диапазоне от 0,1 мкм до первых сотен.

Хотелось бы отметить, что впервые на материале золошлаковых образований сделана попытка сопоставить свободное самородное и связанное, тонкодисперсное золото. Применяя сцинтиляционный метод мы вторгаемся в самую неизученную, но самую перспективную в области новых технологий пограничную область между микро – и нанночастицами благородных металлов. Ниже приводятся первые результаты в этом направлении исследований. По данным сцинтиляционного анализа продуктов: проба 1 – концентрат вибровинтового сепаратора; проба 2 – концентрат виброцентробежного чашевого аппарата и проба 3 – хвосты обогащения были получены очень интересные данные. Примерно половина тонкодисперсного золота находится в хвостах обогащения и находится в самородной форме (рис. 6-8). Проведенные нами бутылочные тесты по выщелачиванию золота цианидом натрия из материала этих хвостов показали высокие показатели извлечения золота в раствор – 92,1%, а из концентрата – 97,7%.

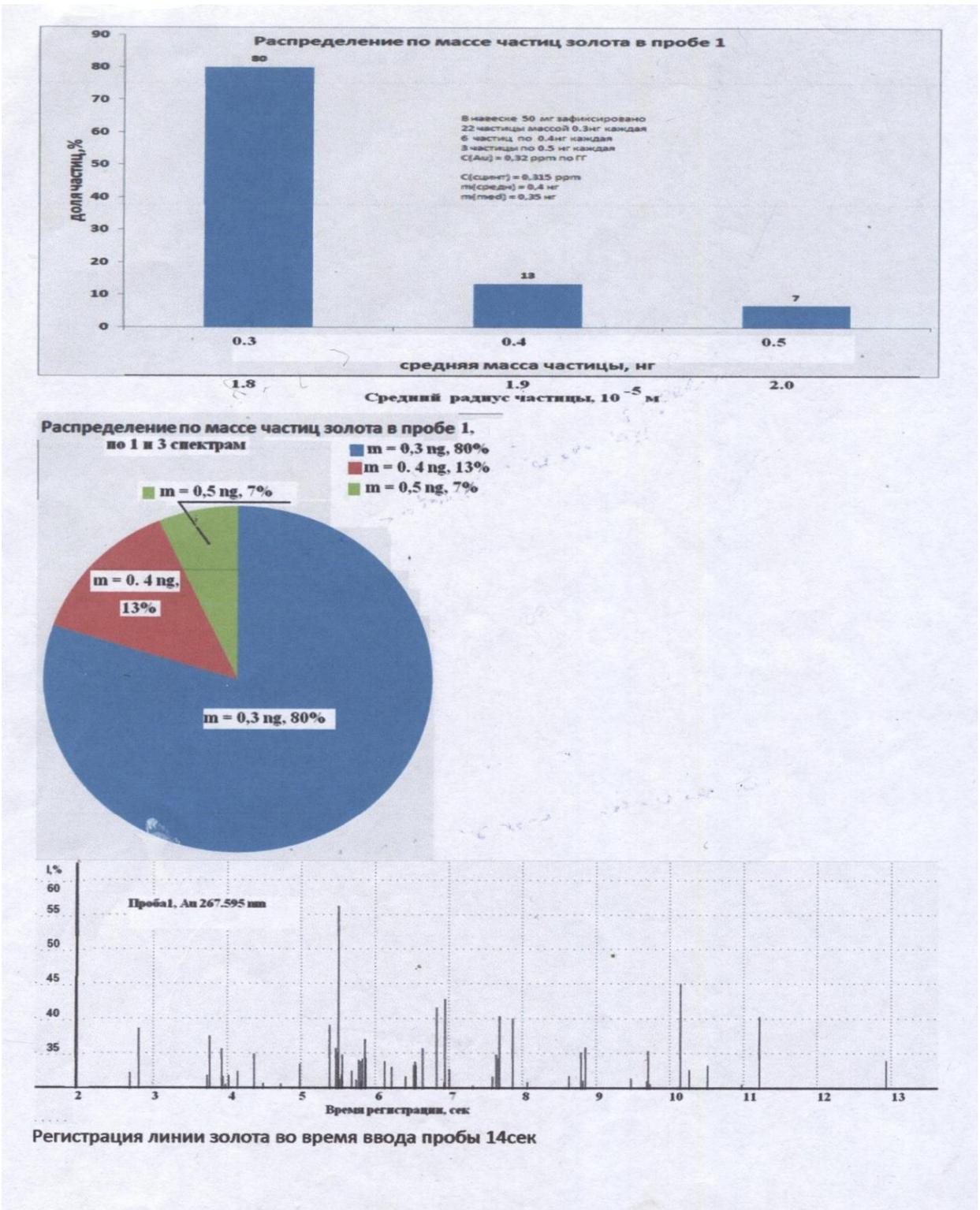


Рисунок 2.13 – Результаты кинетического спектрального способа анализа по определению золота из хвостов обогащения центробежных аппаратах (Проба 1)

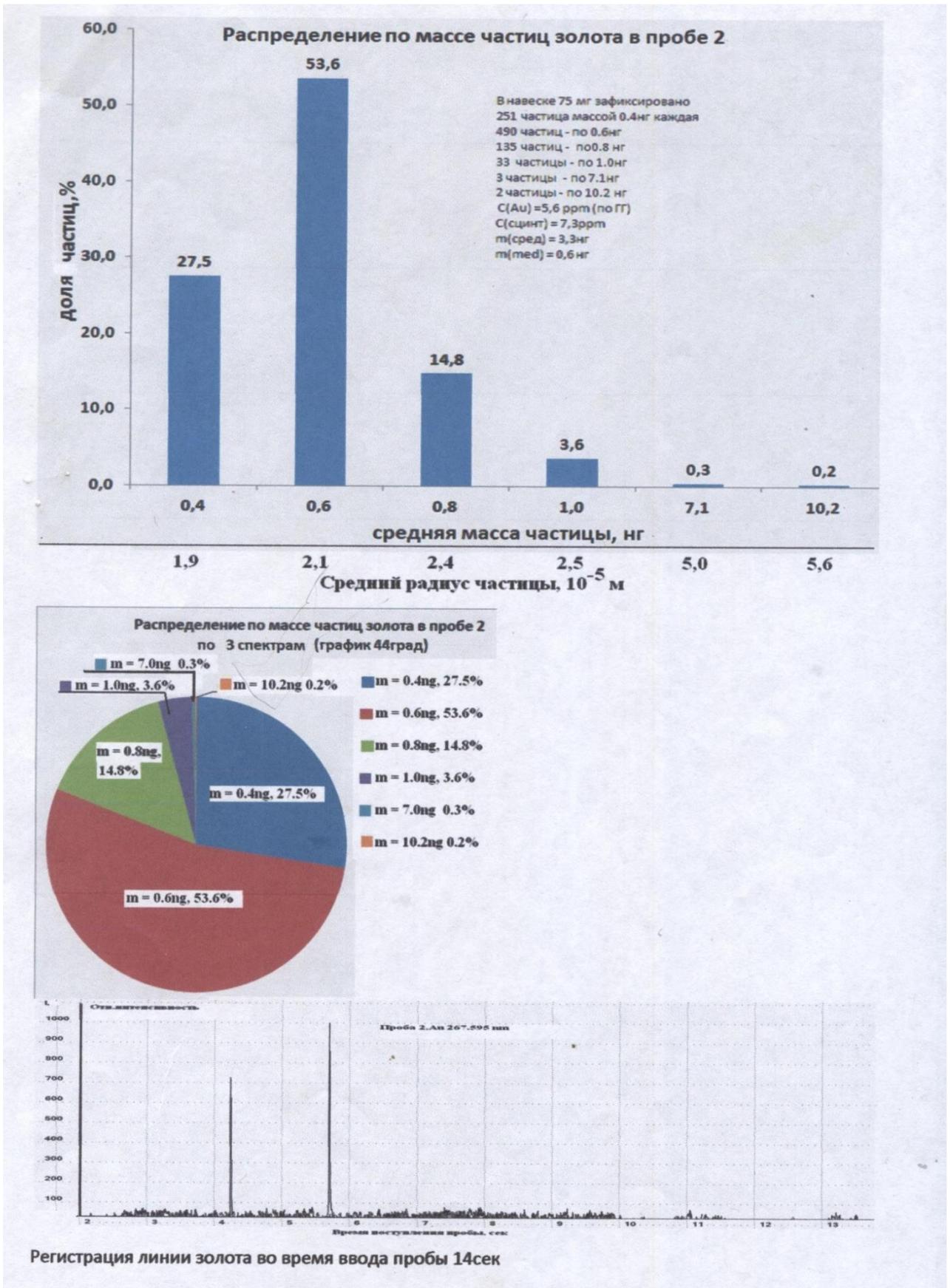
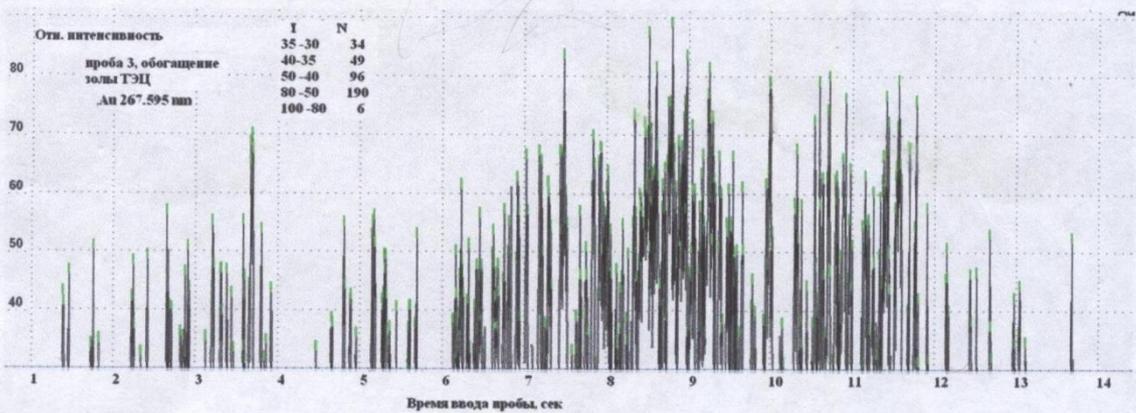


Рисунок 2.14 – Результаты кинетического спектрального способа анализа по определению золота из концентрата вибровинтового сепаратора (Проба 2)



Регистрация линии золота во время ввода пробы 14сек

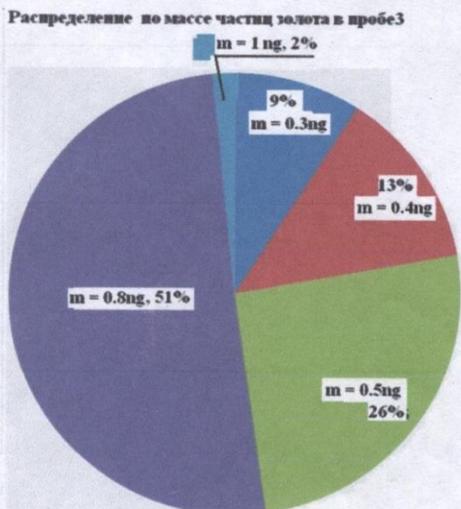


Рисунок 2.15 – Результаты кинетического спектрального способа анализа по определению золота из концентрата виброцентробежных аппаратов (Проба 3)

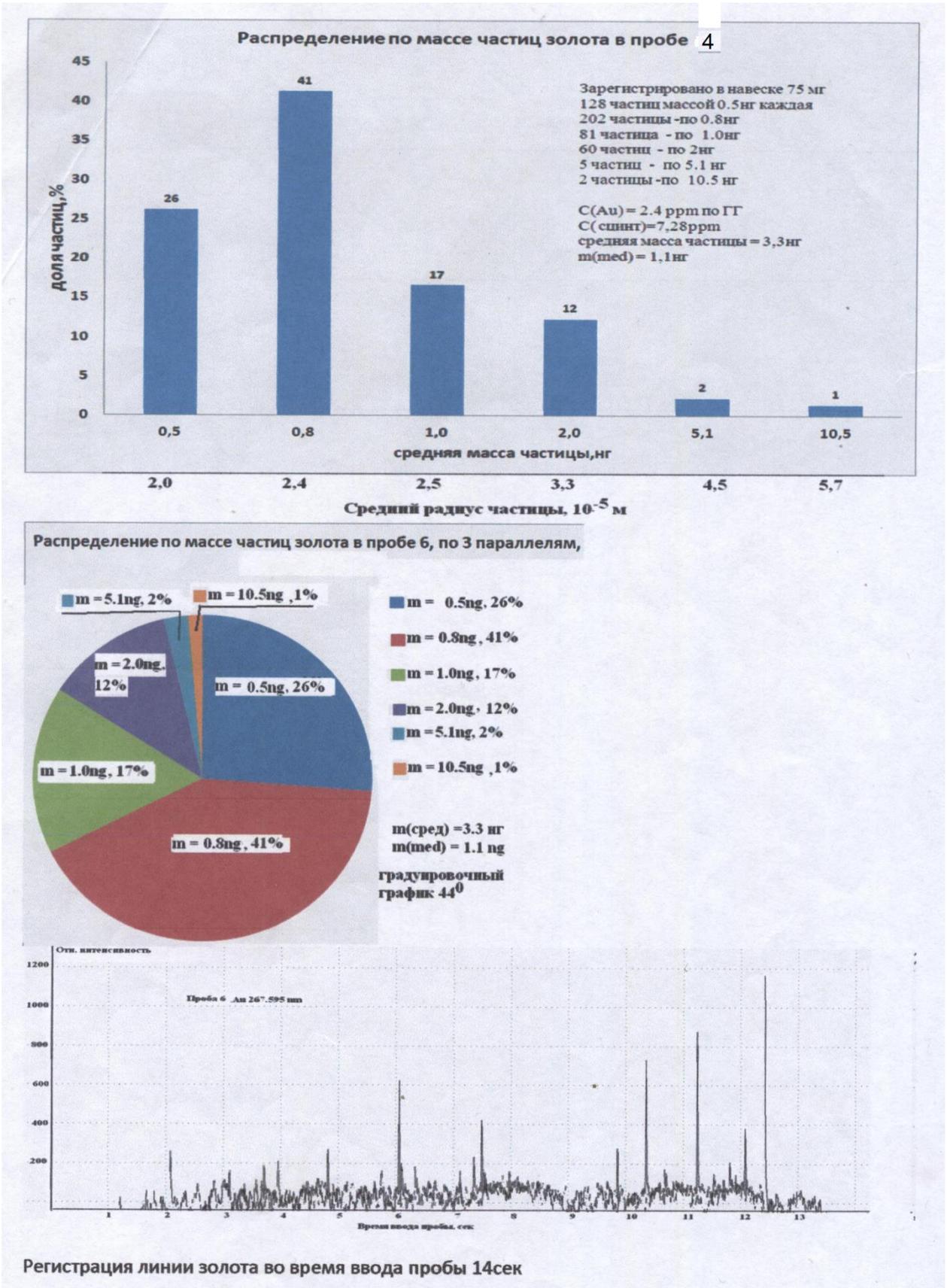


Рисунок 2.16 – Результаты кинетического спектрального способа анализа по определению платины Кумдыкольского месторождения алмазов (Проба 4)

3 Исследования по выделению железистых продуктов из золошлакового отхода магнитными методами обогащения

Главная масса железа сосредоточена в классах $-0,1+0,044$ мм, выход магнитного продукта составляет от 44,57 до 50,81%, качество продукта 44-47% железа общего (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Гранулометрический состав, распределение железа в золошлаковых отходах по классам крупности и результаты сухой магнитной сепарации

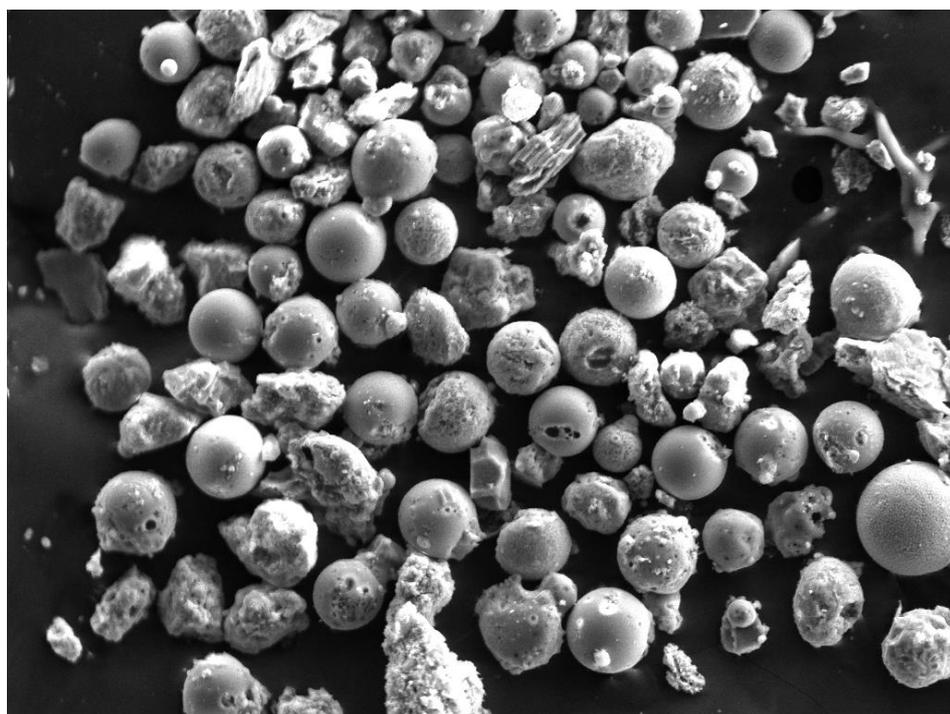
Класс крупности, мм	Продукты	Выход класса крупности		Содержание железа, %	Извлечение железа, %
		г	%		
-0,5+0,2	Магнитые	41	7,27	34,40	24,13
	Немагнитые	523	92,73	8,48	75,87
	Исходная	564	100	10,36	100
-0,2+0,1	Магнитые	43	21,94	35,29	64,01
	Немагнитые	153	78,06	5,58	35,99
	Исходная	196	100	12,09	100
-0,1+0,074	Магнитые	119	44,57	44,0	85,00
	Немагнитые	148	55,43	6,25	15,00
	Исходная	267	100	23,07	100
-0,074+0,044	Магнитые	61,8	50,08	47,58	89,18
	Немагнитые	61,6	49,92	5,80	10,82
	Исходная	123,4	100	26,72	100

Основная форма нахождения железа – сферомагнетит, образовавшийся в топке ТЭЦ при переплавлении первичных железосодержащих минералов и железоорганических соединений экибастузских углей.

Общий вид и состав сферомагнетита приведены на рисунке 3.1 и в таблице 3.2.

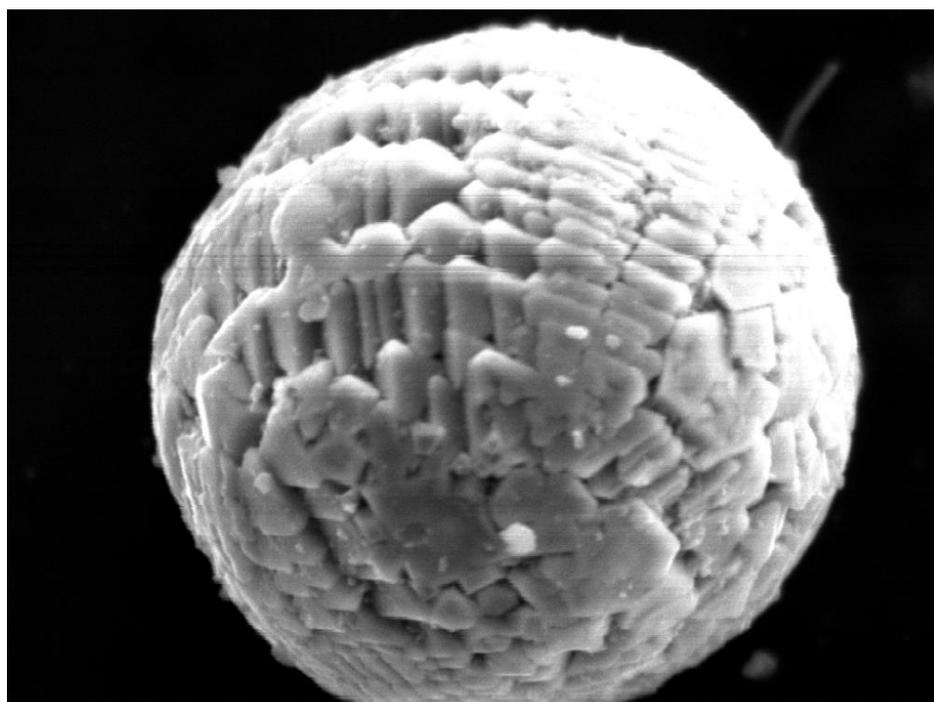
Таблица 3.2 – Химический состав микросфер железа по данным электронно - зондового микроанализатора Superprobe 733

Анализы	Элементы, вес. %										
	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ti	Fe	Итог
Анализ 1	28,92		3,80	2,36	3,78	0,16	0,11	0,02	0,09	58,06	100,00
Анализ 2	42,61	0,18	2,50	5,90	13,56	0,42		0,08	0,17	19,39	100,00
Анализ 3	28,25		1,04	1,87	3,16	0,19		0,00	0,10	58,45	100,00
Анализ 4	34,46	0,29	1,33	1,64	2,32	0,25			0,08	57,34	100,00
Анализ 5	29,09	0,17	0,65	3,99	5,97	0,13	0,12		0,24	55,85	100,00
Анализ 6	42,82	0,48	0,45	6,81	22,98	0,48	0,56	0,39	0,35	22,44	100,00
Макс.	42,82	0,48	3,80	6,81	22,98	0,48	0,56	0,39	0,35	58,45	
Мин.	28,25	0,17	0,45	1,64	2,32	0,13	0,11	0,00	0,08	19,39	



300мкм

Рисунок 3.1 – Сферомагнетит



30мкм

Рисунок 3.2 – Сферомагнетит после обработки азотной кислотой

Средний размер шариков 70-100 мкм. Обладают интенсивными магнитными свойствами, магнитная восприимчивость от 2000 до $10000 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС.

Выделяются два типа микросфер по содержанию в них железе – 19-22% и 55-58%. Первые визуально под микроскопом отличаются ярким металлическим блеском, вторые – (более богатые железом) матовой, серой окраской.

Для выяснения причин появления разных по железу микросфер были изучены исходные угли, а также дополнительно проведено их сжигание в обычных условиях без принудительной подачи воздуха. Одинаково выполнено обогащение в системе «вибровинтовой сепаратор – виброцентробежный аппарат» исходных углей и их зол, изучив состав продуктов обогащения позволило примерно оценить формы нахождения и преобразования минеральной части при сгорании углей.

Исходные угли. Экибастузские угли каменные, гумусовые, высокоминерализованные.

По нашим данным основным минералом – носителем железа в углях является сидерит, второстепенные пирит, маркозит (табл. 3.3), а также железоорганические соединения. В составе сидеритов (справочные данные) оксид железа составляет 62,1%, в качестве примеси присутствуют Mn, Mg.

Таблица 3.3 – Экибастузские угли. Результаты гравитационного обогащения железа

Продукты обогащения	Выход		Содержание железа, % оксида железа, %	Извлечение железа, % оксида железа, %	Минеральный состав (за исключением угольной массы) (%)
	кг	%			
+2 мм	4,50	45,0			
Концентрат вибровинтового сепаратора	0,8	8,0	19,46/30,24	**	Каолинит – 78, Кальцит – 8,4, Сидерит – 7,5, Кварц – 5,5, Пирит, магнетит
Концентрат виброцентробежного чашевого аппарата	2,05	20,5	15,52/22,18		Каолинит – 61,7, Кварц – 17,5, Сидерит – 12,3, Кальцит – 8,5, Примесь пирита, магнетита
Хвосты	2,65	26,5	Не анализировалось		
Исходный уголь	10,0	100	5,0		

* - паспортные данные (приложение 2)

** - от операции

Содержания Fe концентратах низкие от 15,52 до 19,46%, по составу сидеритовые, практического значения не представляют.

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Mn	Fe	Итог
Спектр 1, %	39,25	0,88	2,62	2,87	0,58	4,96	1,69	47,16	100,00

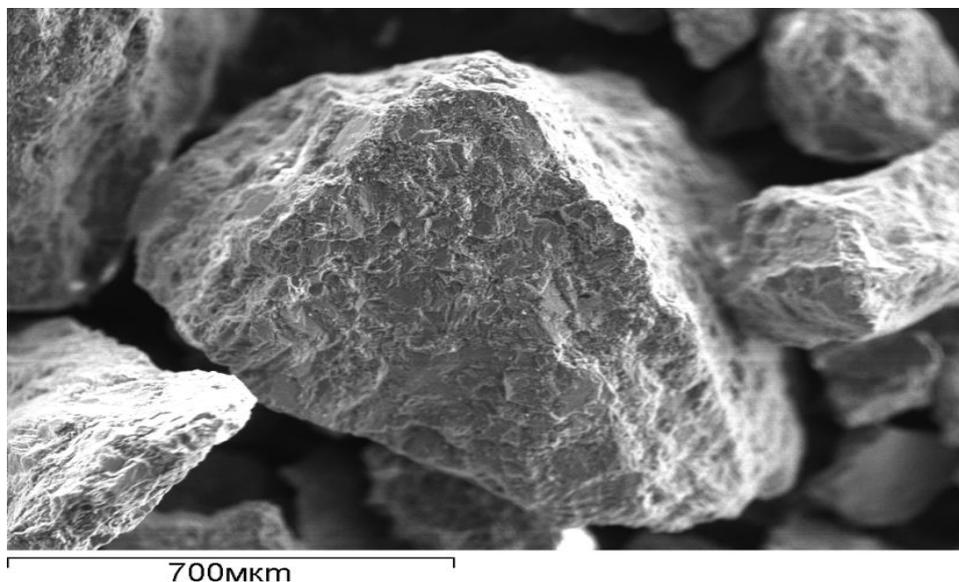


Рисунок 3.3 – Обр. 4. Зол – 1. Обломок сидерита в гравюконцентрате исходного угля

Химический состав сидерита: Fe – 53, 61%; Mn – 1,96%; Ca – 2,67%; Si – 2,06%; Al – 2,16; Mg – 0,79%.

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1, %	40,93	0,82	0,91	5,47	14,36	0,23	0,75	0,27	0,96	35,29	100,00

Минеральная составляющая углей - каолинит кварцевая с карбонатами железа, кальция, магния (табл. 3.6).

Среди редких, обломочных зерен встречаются неправильной формы, остроугольные, иногда октаэдрические и экзотические шаровидные, похожие на окаменелые микроорганизмы.

Общий вид Fe – содержащих минералов в углях показан на рисунках 3.3, 3.4.

Главным железосодержащим минералом концентратов вибровинтового сепаратора и виброцентробежного аппарата являются угловатые обломки сидерита с содержанием железа 53 и более процентов.

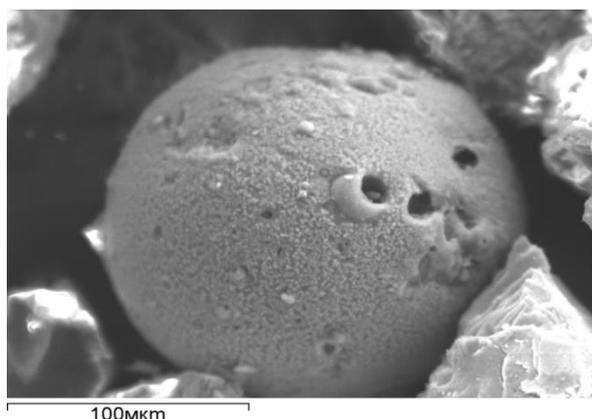


Рисунок 3.4 – Обр. 4. Зол-1. Шаровидные выделения (микроорганизмы) сложного состава Fe (35,29%), Mn (0,96%), Ti (0,27%), Si (14,36%), Al (5,47%), Mg (0,91%).

Микросферы редки и они с низкими содержаниями Fe (до 39%) и большим набором сопутствующих компонентов (Ca, Mg, Al, Si).

Характерна гладкая форма шаров со сквозными отверстиями.

Сжигание углей в обычной печи без принудительной подачи воздуха и последующим обогащением золы на центробежных аппаратах позволило получить следующие данные (табл. 3.4)

В печной золе содержание железа в гравиконоцентрате осталось примерно тем же, что и в углях, изменился минеральный состав. Наряду с реликтовым железосодержащим сидеритом появился принципиально новый минерал – гематит (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Печная зола. Проба Зол-2. Результаты гравитационного обогащения и минеральный состав продуктов

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание железа, %	Извлечение железа, %	Минеральный состав (%)
Концентрат виброцентробежного чашевого аппарата	1,02	18,57	1,7	Кварц – 44,1 Гематит – 28,8 КПШ, Альбит (21,3), Сидерит - 6,3
Хвосты	98,98	11,59	98,3	Кварц (60,2), гематит (14,8), альбит (10,4), кальцит (10,4), сидерит (4,3)
Исходный материал	100	10,96	100	

Общий вид и форма обломков сократилась исходного сидерита в углях (рис. 3.5). Содержание железа в концентрате (18,57%) примерно близкое с таковым в углях. В гематитизированных сидеритах от 49 до 62%.

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Mg	Si	S	Ca	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	33,44	5,19	0,44	0,35	9,81	1,15	49,62	100,00

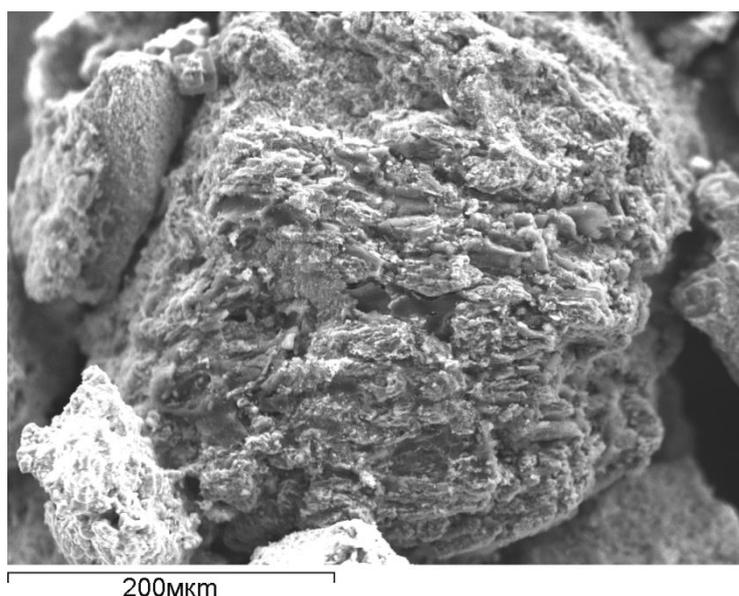


Рисунок 3.6 – Обр. 1. Зол-2. Печная зола. Общий вид гематитизированного сидерита

Таким образом, сферомagnetит – это типоморфный признак не только высокотемпературных условий образований, но и среды – газовые струи в кипящем слое.

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Fe	Итог
Спектр 1	37,04	62,96	100,00

Среди угловатых обломков нацело гематитизированного сидерита встречаются редкие шаровидные железо – алюмосиликатные образования, похожие на окаменелые микроорганизмы углей. Но они не определяют железистость получаемой при сжигании золы.

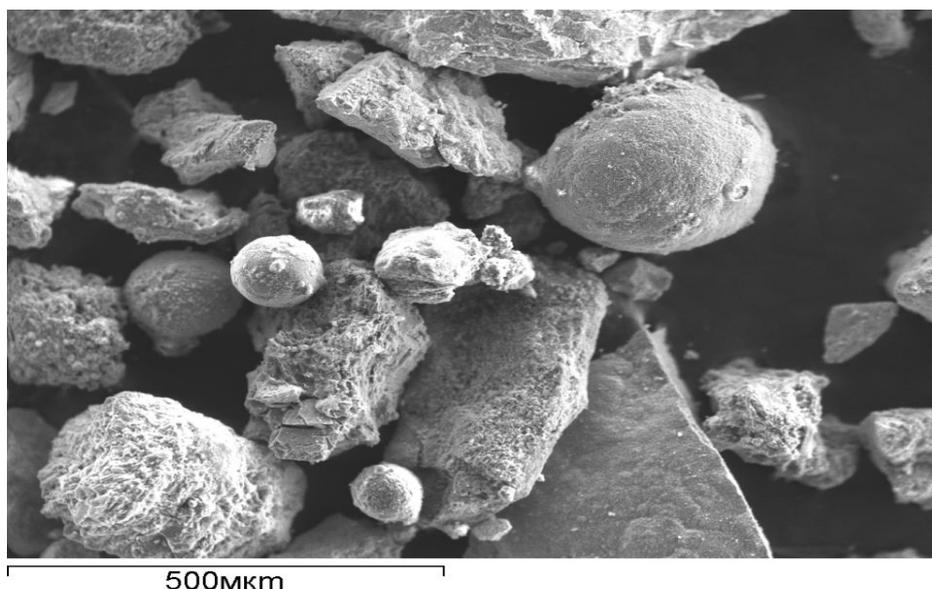


Рисунок 3.7 – Обр. 1. Зол-2. Печная зола

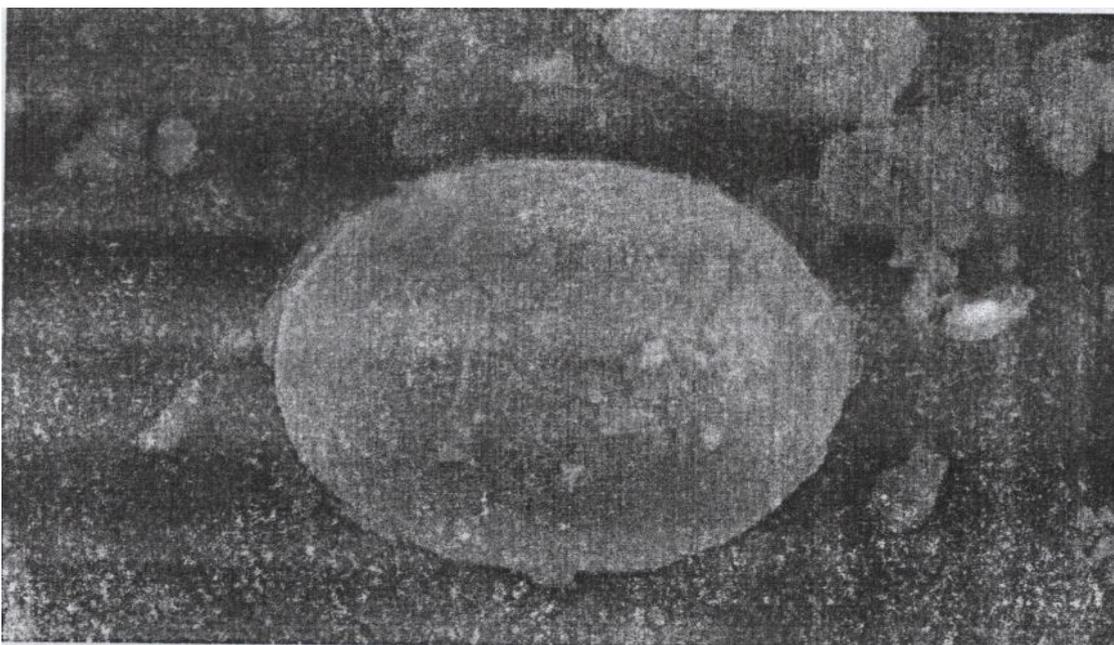
Таким образом, проведенные исследования доказывают появление микросфер магнетита в золе ТЭЦ особенностями сжигания углей – в струях восходящих газов в «кипящем слое», за счет сидерита и разрушения железоорганических соединений.

В связи с этим мы приходим к важному выводу – сферомагнетит или железосодержащие микросферы являются не только индикатором высокотемпературных условий образования, но и способа – в струе восходящих газов железорудной, и как показали наши исследования золоторудной, урановой, алмазной минерализации.

На рисунках 3.8 и 3.9 показаны железосодержащие микросферы (магнетит, самородное железо) из алмазосодержащих кальцифиров и графит – алмазного флотоконцентрата Кумдыкольского месторождения технических алмазов. По составу и характеру сложения микросферы аналогичны микросферам золошлаковых отходов.

На рисунках 3.10, 3.11 приводятся снимки сделанные под электронными микроскопом железосодержащих микросфер из золотой руды в черных (углеродсодержащих) сланцах (рудное тело №4) месторождения Кварцитовые Горки.

Таким образом, для углеродсодержащих руд золота, алмазов железосодержащие микросферы являются индикаторами условий образования этих руд, а участки их небольшого скопления, по – видимому, будут «горячими точками» наиболее богатых и протяженных руд на глубине.



(Содержания: Fe – 39,13%; Mn – 1,35%; V – 0,26%; Ti – 0,16%; Ca – 3,62%; Si – 14,32%; Al – 2,69; Mg – 2,22%.)

Рисунок 3.8 – Сферомагнетит в кальцифирах Кумдыкольского месторождения технических алмазов

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.9.

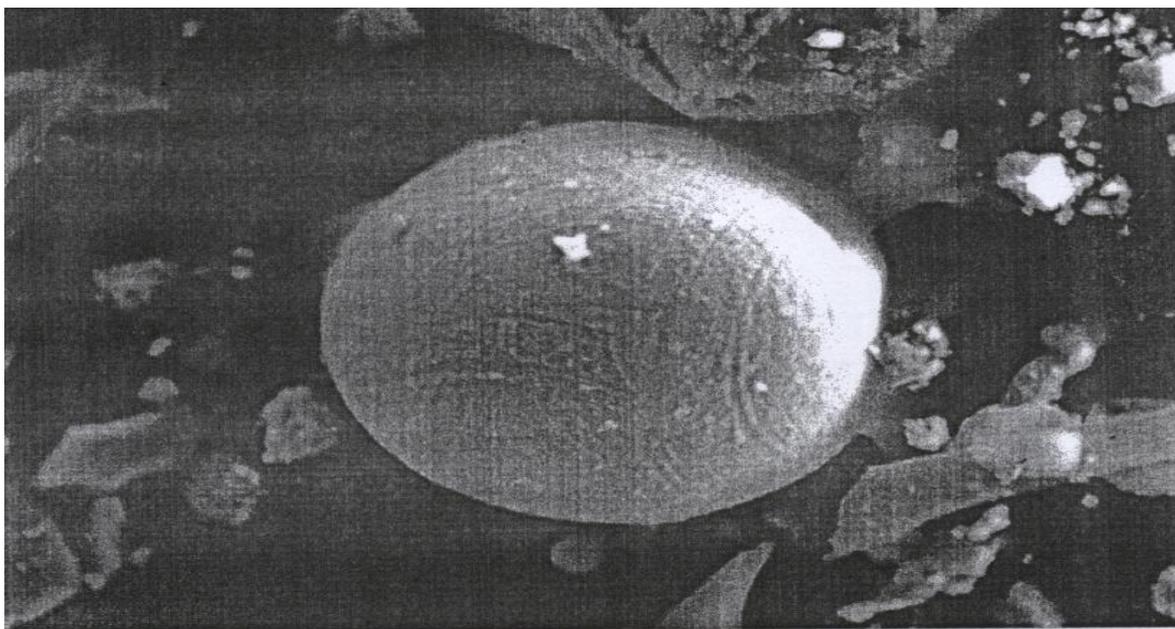
Таблица 3.9 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Итого
Спектр 1	35,65	2,22	2,69	14,32	0,62	3,62	0,16	0,26	1,35	39,13	100

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Si	Mn	Fe	Итого
Спектр 1	26,66	0,99	0,75	71,60	100,00



(Содержания: Fe – 71,60%; Mn – 0,75%; Si – 0,99%.)

Рисунок 3.9 – Железосодержащая микросфера из алмазосодержащего флотоконцентрата Кумдыкольского месторождения

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	23,66	0,66	2,06	1,72	0,17	1,62	70,12	100,00

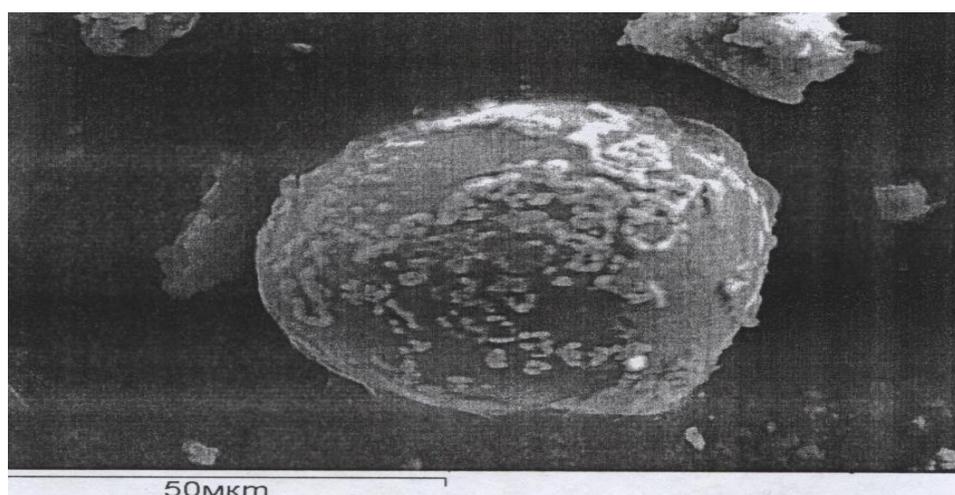


Рисунок 3.10 – Железосодержащая микросфера (Fe – 70,12%) из гравиконоцентрата золотосодержащих руд месторождения Кварцитовые Горки

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован). Все результаты приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Результаты микрозондовых анализов всех элементов

Спектр	O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Итого
Спектр 1	33,87	0,82	2,08	7,26	0,29	1,18	54,49	100,00

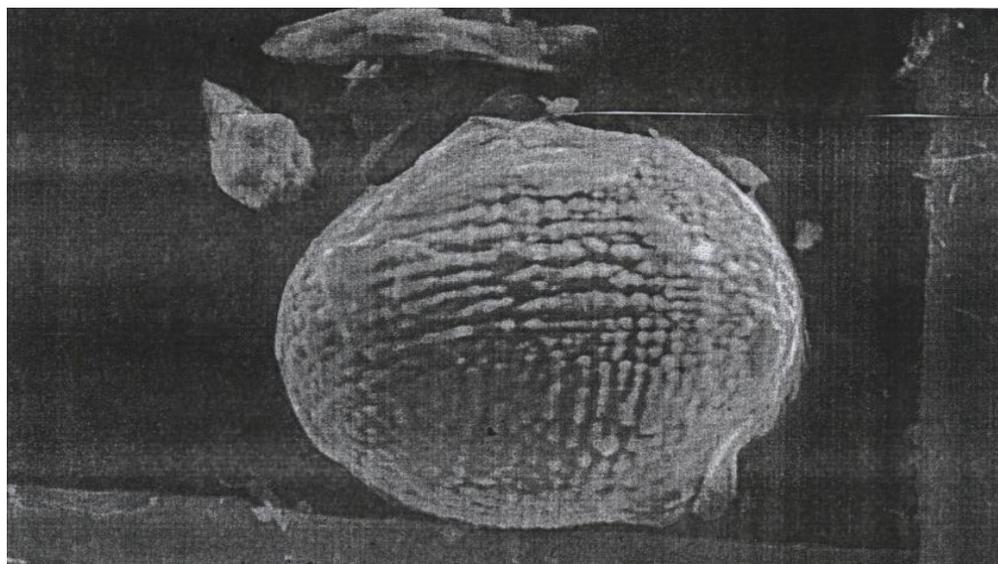


Рисунок 3.11 – Железосодержащая микросфера (магнетит, Fe – 54,49%) из гравиконоцентрата золотосодержащих руд месторождения Кварцитовые Горки

Укрупненные лабораторные испытания на Fe проводили на материале естественной крупности на пробах из различных частей золоотвала и первое, с чем пришлось столкнуться – это резко неоднородный характер распределения железа. Исходные содержания железа варьируют от 3,5-5,0% до 17%, выходы концентратов на винтовом сепараторе при одинаковом положении отсекаателя так же извлекается от 7,0 до 40,0%. В связи с этим, в таблице 25 приводятся наиболее приближенные к действительности параметры обогащения.

Укрупненно – лабораторные испытания проводились на пробе весом 120 кг в ручном режиме по гравитационно – магнитной схеме показанной на рисунке 3.12, результаты обогащения – таблица 3.13.



Рисунок 3.12 – Технологическая схема проведения укрупненно лабораторных испытаний на железо

Таблица 3.13 – Результаты укрупнено–лабораторных испытаний на Fe золошлаковых отходов экибастузских углей на материале естественной крупности

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание железа, %	Извлечение железа
+2 мм	11,11	10,38	6,47
-2 +0 мм Концентрат вибровинтового сепаратора	14,53	38,77	31,68
Продукты обогащения	Выход, %	Содержание железа, %	Извлечение железа
Концентрат виброцентробежных чашевых аппаратов	0,94	16,64	0,90
Хвосты	73,42	14,76	60,94
Исходная проба	100	17,77	100

Достигнуты следующие показатели:

- извлечение железа в черновой концентрат вибровинтового сепаратора составило 31,68%, выход концентрата – 14,53%;
- содержание железа в концентрате – 38,77%.

Перечисткой черного концентрата на постоянных магнитах повысили качество концентрата до 53 – 58% Fe, с выходом 8-10%.

Таким образом, укрупненные лабораторные испытания позволили получить предварительные технологические параметры как по золоту, так и железу по переработке золошлаковых отходов экибастузских углей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам НИР

На основании проведенных исследований согласно календарного плана работ на 2019 год можно сделать следующие выводы:

Изучены гранулометрический состав и распределения золота и железа в отобранной пробе золошлакового отхода Степногорской ТЭЦ. Главными минералами большей части золошлаковых отходов являются муллит, магнетит, кварц с примесью гематита, кристобалита, кальцита, гипса. В химическом составе преобладает алюминий, кремний, железо, кальций. В качестве примеси выявлены титан, марганец, хром.

Проведенный гранулометрический анализ с изучением минерального и химического составов с применением прецизионных методов исследований позволили выделить золото и железо содержащие классы крупности в зернистой части материала золосодержащих отходов. Содержание общего золота независимо от размерности золошлаковых образований примерно одинаковые - 0,2 - 0,4 г/т, что указывает на тонкодисперсный характер золота.

Проведены исследования по гравитационному обогащению золошлакового материала с исследованием вибровинтового сепаратора и каскада виброцентробежных чашевых аппаратов по извлечению свободного самородного золота. По результатам гравитационного тестирования узких классов крупности (-0,1+0,044 мм, -0,044+0 мм) при среднем содержании золота (0,3 г/т) в гравитационный концентрат с содержанием 1,66 г/т извлечено 48 % золота. Для усиления эффекта гравитационного обогащения, проведена магнитная сепарация гравитационного концентрата. В немагнитный продукт выделено золотосодержащий продукт с содержанием 5,50 г/т и извлечением до 90,84 % золота.

Кинетическим спектральным способом (КСС) анализа твердофазных дисперсных проб исследуемой золы и продуктов обогащения, удалось установить частицы не только тонкодисперсного золота, но и платины.

Магнитной сепарацией продуктов гравитационного обогащения из класса крупности -0,044 + 0 мм в немагнитный продукт выделено золото содержанием 5,50 г/т с извлечением до 90,84%.

Кинетическим спектральным способом анализа их хвостов обогащения центробежных гравитационных аппаратов определено содержание тонкодисперсного золота (0,32 г/т), атомно-абсорбционным анализом (0,16 г/т), из концентрата вибровинтового сепаратора соответственно 7,3 г/т и 0,77 г/т тонкодисперсного золота. Также из концентрата виброцентробежных аппаратов методом КСС определено содержание тонкодисперсного золота с содержанием 8,9 г/т по сравнению с атомно-абсорбционным анализом с содержанием 1,1 г/т. Таким образом, золотосодержание золы можно будет оценивать по двум показателям – по количеству свободного самородного, так и связанного.

Кинетическим спектральным способом в отличие от атомно-абсорбционного анализа можно в достаточной степени определить истинное содержание тонкодисперсного связанного золота.

Проведены исследования по выделению железистых продуктов из золошлакового отхода магнитными методами обогащения. По результатам исследований из класса крупности + 2 ии и -2+0 мм в черновой концентрат с содержанием 38,77 % извлечено 31,68 % железа.

Исследования по выделению мелких фракций золотосодержащих продуктов из золошлаковых отходов флотационными методами обогащения показали неудовлетворительные результаты. Содержание золота в полученном флотационном концентрате составило 0,15-0,30 г/т при извлечении 5-8% от операции.

Разработан обогатительный комплекс по переработке золошлаковых отходов, позволяющий получать из него золото и железосодержащие продукты на основе гравитационно-магнитного метода обогащения .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Середин В.В. Основные типы металлоносных углей и перспективы их промышленного освоения // Благородные и редкие металлы: Труды Междунар. конф. «БРМ 2003» (Донецк, 22–26 сентября 2003 г.). – Донецк, 2003. – С. 109–111.
- 2 Середин В.В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения // Угольная база России. Т. VI (Сводный, заключительный). Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2004. – С. 453–518.
- 3 Арбузов С.И., Маслов С.Г., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф. Формы концентрирования золота и угля // Геология и охрана недр. - Алматы. - 2003. - № 3. – С. 15–20.
- 4 Бекман В.М. Месторождения углей. Геология СССР Т. XX, Центральный Казахстан. Полезная ископаемые. - М.: Недра, 1989. – С. 135–196.
- 5 Хамзин В.С., Байдалинов А.Т. О расширении сфер использования минерального сырья. Геология и охрана недр. - Алматы, 2003. - №2. – С. 63–65.
- 6 РНД 03.0.0.2.01 – 96. Классификатор токсичных промышленных отходов производства промышленных предприятий РК. – Алматы: МООС РК, 1997.
- 7 Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А. и др. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. Кемерово, 1999 – 248 с.
- 8 Бакулин Ю.И., Черепанов А.А. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска/Труды и металлы, 2002, – №3 – С. 60–67.
- 9 Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко А.Е. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал, 1998.
- 10 Сорбция тяжелых металлов зольными уносами от сжигания угля на ТЭС// Химия тв. топлива, 1990. – № 5. – С. 23–27.5 – С. 67–68.
- 11 Угольная база России. Т. VI. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. ЗАО «Геоинформмарк», М., 2004. – 439 с.
- 12 Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л., Наука 1985, – 230 с.
- 13 Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Золото в углях // Литогенез и геохимия осадочных формаций Тимано-Уральского региона. Сыктывкар, 2003. – №5. – С. 80–109.
- 14 Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. М.:Недра, 1996. – 238 с.

- 15 Клер В.Р., Волкова Г.А., Гурвич Е.М. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов. М., Наука, 1987. – 239 с.
- 16 Крапивенцева В.В. Металлоносность углей Приамурья // Тихоокеанская геология, 2005 – т.24 – №1 – С. 73–84.
- 17 Середин В.В. Au–PGE– минерализация на территории Павловского бурогоугольного месторождения, Приморье// Геология рудных месторождений, 2004. – Т. 46. – №1. – С. 43–73.
- 18 Середин В.В., Шпирт М.Я. Редкоземельные элементы в гуминовом веществе металлоносных углей // Литология и полез. ископаемые. 1999. – №3. – С. 281–286.
- 19 Степанов В.А. Благородные металлы в угольных месторождениях Сибири и Дальнего Востока// Руды и металлы, 2005. – №3. – С. 67–74.
- 20 Целыковский Ю.К. Некоторые проблемы использования золошлаковых отходов ТЭС в России. Энергетик. 1998. – №7. – С. 29–34.
- 21 Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М., Недра, 1986. – 254 с.
- 22 Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых / М.Я. Шпирт. М., 1988. – 255 с.
- 23 Сокол Э.В. Природа, химический и фазовый состав энергетических зол Челябинских углей / Э.В. Сокол, Н.В. Максимова. Новосибирск, 2001. – 110 с.
- 24 Сиротюк В.В. Опыт и перспективы использования золошлаковых материалов в транспортном строительстве / В.В. Сиротюк // Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11». – С. 37–52.
- 25 <http://bibliotekar.ru/spravochnik-64/14htm>
- 26 <http://entcentr.narod.ru/tehrazr.htm>
- 27 Успенский С.К. Переработка и подготовка золошлаковых материалов к использованию / С.К. Успенский // Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11». – С. 93–111.
- 28 www.cenosphereindia.com
- 29 Кизильштейн Л.Я. Компоненты зол и шлаков ТЭЦ / Л.Я. Кизильштейн. М.: Энергоатомиздат, 1995. – 227 с.
- 30 Аншиц А.Г. Выделение магнитных микросфер постоянного состава из энергетических зол и изучение их физико-химических свойств / А.Г. Аншиц, В.А. Низов, Е.В. Кондратенко // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. № 7. – С. 105–118.
- 31 Патент РФ№2357233. Способ одновременного определения распределения частиц по массе в дисперсной пробе и концентрации элементов в частице пробы /Заякина С. Б., Лабусов В. А., Аношин Г. Н., Путьмаков А. Н.// заявка №2007124240/28(026399) положительное решение от 27.11.2008.

32 Середин В.В. О новом типе редкоземельного оруденения кайнозойских угленосных впадин / Доклады АН СССР.- 1991.-Т. 320.- 6.-С. 1446-1450.

33 Перегудов В.В. Методика поисков месторождений золота корках выветривания и россыпей в осадочных отложениях по тонкому пылсвидному золоту// Природные и генные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий. Москва 2000.С. 281.

34 Кузьминых В.М., Сорокин А.П., Рождествина В.И., Чурсина Л.А. Формы нахождения и перераспределения золота по фазам при горений углей // Материалы международного совещания «Инновационные процессы в технологиях комплексной экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья (Плаксинские чтения – 2009)». Новосибирск. 2009. С. 274.

35 Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Рождестина В. И. Распределение золота в кайнозойских бурых углях Верхнего и Среднего Приамурья // Материалы международного совещания Инновационные процессы в технологиях комплексной экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья (Плаксинские чтения — 2009)». Новосибирск. 2009. С. 50-51.

36 Сорокин А. П., Рождествина В. И. Благородные металлы в бурый углях // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциации, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Всерос. науч. конф., сб. докладов. М.: ИГЕМ 2010. С. 247-249.

37 Перегудов В.В. Золото в золе Экибастузских углей и рекомендации для геологоразведочных и технологических исследований /Мат. семинара-совещ. Проблемы совершенствования технологий на обогатительных предприятиях Казахстана - наук и практика. Нац.центр по комплексной переработке мин. сырья РК. Алматы, 2002. С. 206-207

38 Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко А.Е. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал. 1998. №5. 67-68.

39 Перегудов В.В., Попов В.Л., Горбунев Л.Н., Гончаренко В.А., Базулев В.М., Черухин В.Л. Характерные особенности центробежных аппаратов гравитационного обогащения производства ТОО «Степногорский инж. центр» /Мат. семинара-совещ. Проблемы совершенствования технологий на обогатительных предприятиях Казахстана-наука и практика. Нац.центр по комплексной переработке мин. сырья РК. Алматы, 2002. С. 150-153..

40 Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Рождествина В. И., модык см Золото в бурых углях и технологии его извлечения // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Всерос. науч. конф.: сб. докладов. –Благовещенск: Игип ДВО РАН. 2010. С. 247-249.

Приложение А
Список опубликованных работ по теме диссертаций

1. Шаутонов М.Р., Нурманова А.Н., Бакраева А.Н. Исследования по извлечению полезных компонентов из золошлаковых отходов // Труды Сатпаевских чтений, секция «Инновации в области металлургии и обогащения». Алматы, 12 апреля 2019 г. – с. 787-791.

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КЛЮЧ К УСПЕШНОМУ РЕШЕНИЮ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В РУДНОМ И НЕФТЕГАЗОВОМ
СЕКТОРАХ ЭКОНОМИКИ РК**

СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ

ЕҢБЕКТЕРІ

I Том

ТРУДЫ

САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КЛЮЧ К УСПЕШНОМУ РЕШЕНИЮ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В РУДНОМ И НЕФТЕГАЗОВОМ
СЕКТОРАХ ЭКОНОМИКИ РК**

Том I

PROCEEDINGS

SATPAYEV'S READINGS

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES ARE THE KEY TO SUCCESSFUL SOLVING
FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS IN THE ORE AND OIL AND GAS
SECTORS OF THE ECONOMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

I volume

Алматы 2019 Almaty

УДК 001 (063)
ББК 72
И 66

- Оргкомитет:
- Кенжалиев Б.К.** – Проректор по науке, **председатель;**
- Жолтаев Г.Ж.** – Директор ТОО «Институт геологических наук имени К.И.Сатпаева», **заместитель председателя;**
- Сыздыков А.Х.** – Директор Института геологии и нефтегазового дела, **заместитель председателя;**
- Бекботаева А.А.** – Заведующий кафедрой «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», **ответственный исполнитель;**
- Нусупова А.Б.** – Ученый секретарь ТОО «Институт геологических наук имени К.И.Сатпаева», **ответственный исполнитель;**
- Туйебахова З.К.** – Директор Института химических и биологических технологий;
- Саренова А.С.** – Директор Института базового образования;
- Умаров Т.Ф.** – Директор Института информационных и телекоммуникационных технологий;
- Омарбеков Б.О.** – Директор Института промышленной инженерии;
- Салыкова Л.Н.** – Директор Института управления проектами;
- Узбаева Б.Ж.** – Директор Научной библиотеки;
- Сейтжанов Ш.** – Председатель Совета молодых ученых ТОО «Институт геологических наук имени К.И.Сатпаева»;
- Нигматова С.А.** – Руководитель лаборатории ТОО «Институт геологических наук имени К.И.Сатпаева»;
- Окашева Ш.К.** – Руководитель Центра исторического наследия Департамент по студентским вопросам;
- Машрапова М.А.** – Руководитель группы ГИС-технологии ТОО «Институт геологических наук имени К.И.Сатпаева», **секретарь конференции;**
- Баудагулова Г.Т.** – Специалист минералогического музея кафедры ГСПиРМПИ, **секретарь конференции;**

«Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК»: сборнике представлены материалы конференции Сатпаевские чтения.

И66 – Алматы: КазННТУ имени Сатпаева, 2019. – 1486 с.
ISBN 978-601-323-145-7

В современном мире цифровые технологии играют все более важную роль в развитии стран, в том числе таких ключевых сфер как инженерия, строительство, высокие технологии, машиностроение и образование.

ISBN 978-601-323-145-7

УДК 001 (063)
ББК 72
И 66

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

приводит к понижению степени извлечения металлов, увеличению расхода органических реагентов и тем самым к снижению общей эффективности производства металлов. Целью исследований явилась изучение состава, снижение и предотвращение образования третьей фазы во время экстракционного извлечения меди из сульфатных растворов. Для выполнения поставленной цели нами были выбраны модификаторы экстрагентов из группы спиртов и сложных эфиров. В результате исследований установлено, что модификатор на основе спирта приводит к снижению объема третьей фазы незначительно, а модификатор из группы сложных эфиров – почти предотвращает появления третьей фазы. При последнем извлечении меди повысилось от 89 до 94 %.

Ключевые слова. Гидрометаллургия, экстракция, медь, третья фаза

О.Н. Uldakhanov, К.К. Mamyrbayeva, Zh. Bakbergen

Study of reduction of the third phase formation during solvent extraction of copper

Abstract. The article presents the results of research on the optimization of extraction technology for the extraction of copper from productive solutions. The third phase formed in the process of metal extraction leads to a decrease in the degree of extraction of metals, an increase in the consumption of organic reagents, and thereby a decrease in the overall efficiency of metal production. The purpose of the research was to study the composition, reduction and prevention of the formation of the third phase during the extraction of copper from sulphate solutions. To accomplish this goal, we selected extractant modifiers from the group of alcohols and esters. As a result of research, it has been established that the alcohol-based modifier leads to a slight decrease in the volume of the third phase, while the modifier from the group of esters almost prevents the appearance of the third phase. The more recent copper extraction increased from 89% to 94%.

Keywords. Hydrometallurgy, extraction, copper, third phase

УДК 662.765

М.Р. Шаутенов, А.Н. Нурманова, А. Бакраева

*Научный руководитель – Шаутенов М.Р., профессор кафедры МиОПИ, канд.техн.наук, доцент. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан.
shautenov_m@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Аннотация: В настоящее время с истощением запасов рудного минерального сырья, появляется необходимость переработки техногенного сырья, например, зола сжигания Экибастузских углей. Каждый год при сжигании углей образуется от 25 до 38 млн. тонн золы и по своим масштабам накопление золы сопоставимо с природными процессами. Переработка данного вида техногенного сырья наряду с получением из них полезных компонентов, дает возможность снизить высокие техногенные нагрузки добывающих перерабатывающих предприятий промышленных зон, на экологически уязвимые природные системы и проживающие в них население. Использование таких отходов в хозяйственных целях ограничено, в том числе и в связи с их токсичностью. Золоотвалы постоянно пылят, подвижные формы элементов золы активно вымываются осадками, загрязняя воздух, воды и почвы. Сжигаемые угли, являясь природными сорбентами, содержат примеси многих ценных полезных элементов, включая редкие земли и драгметаллы. При сжигании их содержание в золе возрастает в несколько раз и может представлять промышленный интерес.

Рассмотрена возможность переработки золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ работающих на углях Экибастузского месторождения с получением полезных компонентов в виде свободного самородного золота и железосодержащих продуктов на основе гравитационных методов обогащения. Проведенными лабораторными исследованиями изучен химический состав техногенного сырья и распределение золота в золошлаковых отходах. Выполненные лабораторные испытания по гравитационному обогащению материала класса крупности -2+0 мм показали принципиальную возможность извлечения золота (~45%) в гравитационный концентрат и железосодержащего продукта. Главная

787

масса железа (сферожелезо) сосредоточена в классах $-0,1+0,044$ мм, выход магнитного продукта колеблется от 44,57 до 50,8%. Содержание общего железа в данном продукте составило 47%.

Ключевые слова: золошлак, отходы, техногенное сырье, золоотвал, гравитационное обогащение, свободное золото, сферромагнетит.

Сжигаемые угли, являясь природными сорбентами, содержат примеси многих ценных полезных элементов, включая редкие земли и драгметаллы. При сжигании их содержание в золе возрастает в несколько раз и может представлять промышленный интерес. Известно более сотни технологий переработки и использования золошлаковых отходов, которые в основном посвящены использованию золы в строительстве и производстве строительных материалов, не затрагивая при этом извлечения из них как токсичных и вредных, так и полезных и ценных компонентов. Поэтому проведение исследований по разработке технологии переработки данного вида техногенного сырья является актуальной.

Первые сведения о золотосодержании золошлаковых отходов Экибастузских углей и их промышленной добычи на Рефтинской ТЭС (Россия) приводятся в работе Леонова С.Б. и других [1] опубликованы также сенсационные данные о находках промышленных концентраций золота в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска с резким преобладанием самородного металла [1]. Во всяком случае, в последние годы намечается тенденция от чисто научных академических исследований к практическому использованию результатов.

Рассмотрена возможность переработки золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ работающих на углях Экибастузского месторождения с получением полезных компонентов в виде свободного самородного золота и железосодержащих продуктов на основе гравитационных методов обогащения.

Объектом наших исследований является золошлаковые отвалы Степногорской (Акмолинская область) ТЭЦ, работающей на Экибастузских углях. Среди полезных компонентов данного техногенного сырья главными являются золото и железо (рудные) и различные микросферы кварца, кремнийорганических соединений.

Химический состав золы (%): SiO_2 – 57,7; Al_2O_3 – 25,1; CaO – 3,65; MgO – 1,30; Fe_2O_3 – 5,89; $\text{S}_{\text{общ}}$ – 0,15. Содержание углерода органического в зависимости от размерности исходного материала колеблется от 0,232 г/кг до 6,65г/кг. Отмечается присутствие нефтеподобных продуктов от 0,175 г/кг до 3,30 г/кг. Среди элементов – примесей выявлены медь (20 г/т), свинец (30 г/т), цинк (20 г/т). Кристаллическая фаза состоит из муллита, кварца (стекло), остатков несгоревшего углистого материала.

По гранулометрическим параметрам золошлаковые отходы резко неоднородны. На карте золоотвала в околотрубном пространстве накапливаются шлаки гравийно-галечной размерности, далее песчанистой и в центре - алевритовой (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение свободного, самородного золота в околотрубном пространстве золоотвала Степногорской ТЭЦ

В этом же направлении происходит увеличение содержаний органического материала и уменьшение содержаний золота.

В результате проведенного нами опробования и обогащения материала проб на центробежных гидроконцентраторах казахстанской разработки [2,3,4] в 30 пробах (весом 20-40 кг каждая) в классе крупности минус 2 мм золы было установлено наличие свободного самородного золота от единичных до первых сотен зерен. Средний размер золотинок (253 замера) составляет 71x42x30 мкм. Принципиально гранулометрическая характеристика золотинок ничем не отличается для лежалых, древних и текущих золоотвалов. По морфологическим признакам выделяются золотины изометрической, шаровидной и неправильной комковидной формы, присутствующие примерно в равных соотношениях. Цвет золота от ярко-желтого, желтого с бронзовым оттенком до желтовато-зеленовато-серого. Совместно с свободным самородным золотом в концентратах присутствуют сферомagnetит (от 56 мкм и более...), сферы кварца, железо, белый самородный металл возможно (Pt, Pd), гипс, арсенопирит, пирит, халькопирит.

Распределение золота на карте золоотвала крайне неравномерно, большая его часть концентрируется на сливах труб ($T:Ж=1:17$) и по руслам ручьев и водотоков, подчиняется тем же закономерностям, что и для крупного свободного самородного золота россыпей (изгибы ручьев, повороты, перегибы поверхности, лжеплотки и т.п.). В плане ореол крупного золота «вложен» в ореоле тонкого-пылевидного (рис. 1). Следует подчеркнуть, что совместно с свободным самородным золотом установлено большое количество сферомagnetита, но прямой количественной связи между ним и золотом не наблюдается. Просматривается связь между гранулометрическим составом золы, чем крупнее, тем больше свободного самородного золота. Объем песчано-гравийного материала составляет 20-30% от его общего количества в золоотвале. По данным пробирного анализа, среднее содержание золота в классе крупности +2 мм составляет 1,3 г/т, в тонких классах (минус 2 мм) -0,75г/т. Валовое содержание золота -0,8 г/т. Эти данные получены при проведении технологических экспериментов на крупнообъемных пробах весом 300-500 кг. Проведенные контрольные испытания с использованием в голове процесса вибровинтового сепаратора с контрольным обогащением хвостов на виброцентробежных чашевых аппаратах на материале естественной крупности позволяет получать довольно высокие показатели извлечения золота (~45%) от

класса крупности минус 2+0 мм (табл. 1). Показательно, что более третьей части железа извлекается попутно.

Таблица 1 – Результаты контрольного обогащения золотосодержащих золошлаковых образований естественной крупности на вибровинтовом сепараторе и центробежных аппаратах

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание		Извлечение	
		золота, г/т	железа, %	золота	железа
+2 мм	11,11	0,25	10,38	11,23	6,47
-2+0 мм Концентрат вибровинтового сепаратора	14,53	0,77	38,77	41,20	31,68
Концентрат виброцентробежных чашевых аппаратов	0,94	1,11	16,64	3,75	0,90
Хвосты	73,42	0,16	14,76	43,82	60,94
Исходная проба	100	0,27	17,77	100	100

Выполненные лабораторные испытания по гравитационному обогащению материала класса крупности минус 2+0 мм показали принципиальную возможность извлечения золота (~45%) в гравиконоцентрат. По опыту работ, доизмельчение материала позволит повысить извлечение не менее чем на 30-40 %.

Таким образом, проведенные исследования с использованием современных винтовых сепараторов и виброцентробежных аппаратов позволили получить следующие данные:

- в золошлаковых отходах ТЭЦ присутствует самородное золото, в том числе свободное самородное, распределение которого подчиняется законам россыпеобразования;

- свободное самородное золото поддается обогащению на современных казахстанской разработки гравитационных аппаратах, но для эффективной работы оборудования необходимо предварительное доизмельчение материала;

- валовые содержания золота в отдельных частных и крупнообъемных пробах из песчано-гравийной части золоотвала колеблются от 0,27 до 1,5 г/т и выше, в среднем составляют 0,8 г/т (данные пробирных анализов);

- судя по морфологии зерен свободного самородного золота в золошлаковых образованиях отчетливо выделяются аутигенной (шаровидные), кластогенной (окатанные комковидные и пластинчатые) и «сульфидной» (комковидные с отростками неправильной формы) золотины. Золото весьма высокопробное с незначительной примесью серебра (4-5 %).

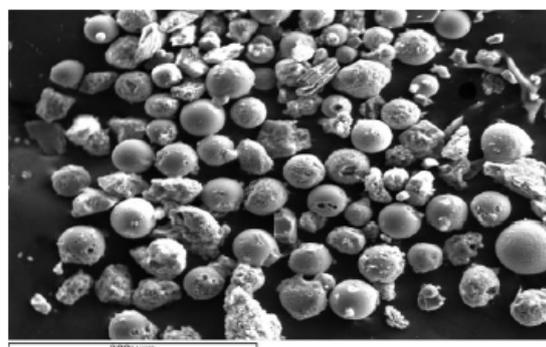


Рисунок 2 – Сферожелезо

790

Главная масса железа (сферожеleže) (рисунок 2) сосредоточена в классах $-0,1+0,044$ мм, выход магнитного продукта колеблется от 44,57 до 50,8%, качество продукта 44-47% железа общего.

В проведенных нами исследованиях, рассмотрено только самородное золото, в частности свободное, и допуская, что некоторая часть золота, находящегося в углях, теряется при его сгорании, особенно в золотоорганических соединениях, все-таки большая его часть остается в технологической системе. При переработке многих тысяч тонн в непрерывном режиме работы ТЭЦ можно пренебречь также потерями свободного самородного золота, которая неизбежно возникает в пульпопроводах при удалении золошлакового материала в золоотвалы, часть его остается в зумпфах песковых насосов, в дренажных ямах, футеровках шаровых мельниц и колосниках печей, электрофильтрах и т.д. Если на начальном этапе это имеет существенное значение, то с годами работы оборудования создаются плотные искусственные «постели», не позволяющие осаждаться свободному золоту.

Литературы:

1. Перегудов В.В. Золото в золе Экибастузских углей и рекомендации для геологоразведочных и технологических исследований. //Материалы семинара совещания «Проблемы совершенствования технологий на обогатительных предприятиях Казахстана – наука и практика. Нац. центр по комплексной переработке мин.сырья РК». Алматы, 2002. с.281.

2. Инновационный патент №25645 от 29.04.2011г. Центробежный гидроконцентратор. Шаутинов М.Р., Байысбеков Ш., Перегудов В.В., Божко А.Н., Сажин Ю.Г., Акказина Н.Т.

3. Инновационный патент №27749 от 25.11.2013г. Магнитный способ разделения убогих бедных золотосодержащих руд от пустых пород на стадии рудоподготовки. Шаутинов М.Р., Перегудов В.В., Байысбеков Ш., Данилов В.В.

4. Инновационный патент №30418 от 23.09.2015г. Виброцентробежный чашевый аппарат периодического действия. Шаутинов М.Р., Перегудов В.В., Ожогин Г.А., Мотовилов И.Ю.

М.Р. Шаутинов¹, А.Н. Нурманова¹, А. Бакраева¹

Күлқождық қалдықтардан пайдалы компоненттерді бөліп алууды зерттеу

Аннотация. Степногорск жылу электрстанциясында (ЖЭС) Экибастуз кен орнындағы көмірді жағуда пайдаланылатын күлқождық қалдықтарды өңдеумен пайдалы компоненттерді (бос саф алтын және темір құрамды өнімдер) гравитациялық байыту негізінде бөліп алу мүмкіншілігі қарастырылды. Лабораториялық жағдайында гравитациялық байыту үдерісі негізінде күлқождық қалдықтың $-2+0$ мм ірілік класын өңдеумен алынған гравитациялық концентратқа 45% шамасындағы бос алтынды, сондай-ақ қосымша темір құрамды өнімдерді бөліп алуға болатыны дәлелденді.

Түйін сөздер: күлқож, экология, техногендік шикізат, күл үйіндісі, гравитациялық байыту, магниттік өңдеу, бос алтын, сферомагнетит, кварц.

M.R. Shautenov¹, A.N. Nurmanova¹, A. Bakrayeva¹

Research on the recovery of useful components from ash and slag wastes

Abstract. Stepnogorsk CHPP considered the possibility of separation of useful components (free gold and iron compounds) on the basis of gravity concentration at the Ekibastuz coal deposit with processing of lime. It is proved that in the laboratory conditions it is possible to obtain up to 45% of free gold, as well as additional iron-containing products for the gravity concentrate obtained by treating the grass residue $-2 + 0$ mm by gravity concentration method.

Key words: ash and slag, ecology, technogenic raw materials, ash dumps, gravity concentration, magnetic treatment, free gold, spheromagnetite, quartz.

Дуйсенбай А.Б., Байгенженов О.С. Асбест өндірісі қалдықтарын шаймалау процесінде алынған ерітіндіден никельді ДИЭГФК экстрагентімен экстракциялау	725
Есенгазиев А.М., Онаев М.И., Ультаракова А.А., Улдаханов О.Х. Переработка хлоридных отходов титаномагниевого производства	728
Жекенбай А.К., Алтымышбаева А.Ж., Байконурова А.О., Маркаметова М.С., Усольцева Г.А. Изучение условий синтеза ксерогеля ванадия	733
Жолдатаев В.М. Опыт промышленной эксплуатации биполярных электролизеров	736
Карелин В.А., Сазонов А.В., Карелина Н.В. Ультразвуковая обработка титан-циркониевых россыпей	740
Қожабеков Р.Р., Чепуштанова Т.А. Изучение процесса сульфидирования окисленных минералов цветных металлов в присутствии пирита	743
Магомедов Д.Р., Койжанова А.К. Выщелачивание золота из хвостов сорбции с использованием поверхностно-активных веществ и окислителей	747
Мамбетжанова А.М., Болотова Л.С., Мамырбаева К.К., Луганов В.А. Гидродинамические характеристики окомкованной медно-никелевой руды	751
Мамырбаева К.К., Бакберген Ж., Магомедов Д.Р. Изучение извлечения золота планированием из окисленной руды	754
Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А., Касымжанов К.К., Кенжалиев Б.К. Извлечение редкоземельных металлов в продукционный раствор из отхода производства фосфорной кислоты	758
Осеров Т.Б., Мухаметтусупов Д.Е., Гусейнова Г.Д. Механохимический метод синтезирования полисульфида натрия	762
Палеха С.А., Смаилов С.А. Повышение эффективности десульфурации на агрегате печь-ковш	767
Сарсембеков Т.К. Перспективы комплексной переработки Сатпаевского ильменитового концентрата	770
Суримбаев Б.Н., Байконурова А.О., Баимбетов Б.С., Усольцева Г.А. Термодинамическое обоснование применения уксусной кислоты в качестве активатора цианидного выщелачивания золотосодержащего сырья	775
Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Бостандыков А.М., Барменшинова М.Б. Разработка технологии обогащения окисленных свинцово-баритовых руд с использованием гравитационных процессов обогащения	779
Улдаханов Ө.Х., Мамырбаева К.К., Бакберген Ж. Мысты экстракциямен бөліп алуға үшінші фазаның түзілуін азайтуды зерттеу	783
Шаутенов М.Р., Нурманова А.Н., Бакраева А. Исследования по извлечению полезных компонентов из золошлаковых отходов	787
Шаутенов М.Р., Нурманова А.Н. Аппарат для модифицирования флотационных реагентов на основе энергетических воздействий	792
Shautenov M. R., Askarova G.E., Abdirassil K.R. Enrichment of sulfide copper-molybdenum ore and getting collective copper-molybdenum concentrate	796
M. Gradzka-Dahlke, M. Lepicka Titanium-based composite materials for biomedical applications	799
H. Homolka, K. Dębiński, M. Grygorczuk, M. Grądzka-Dahlke Applications of powder metallurgy in high entropy alloys – a review	804

Секция «Роль геодезии и маркшейдерии в цифровом Казахстане»

Абенов Ә., Қырғызбаева Г.М. Цифрлы Қазақстандағы геодезияның атқарар ролі	809
Адилбекова Л.Қ., Қырғызбаева Г.М. Құрама тәсілмен кен игерудегі геомеханикалық процесстерді зерттеу	813
Аймбетова Г.А., Цычуева Н.Ю. Обзор современных геодезических методов изучения геодинамических процессов	817
Айтқожаева Т., Нұрпейісова М.Б. Алматы метрополитен аймағындағы ғимараттардың орнықтылығын бақылауда заманауи аспаптарды қолдану	821
Аталыкова Н.С., Солтабаева С.Т. Жерге орналастыру саласында заманауи аспаптарды пайдалану	825