

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
НАО Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК

На правах рукописи

Иманғалиев Нұрболат Амангелдіұлы

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Исследование процесса переработки  
золошлаковых отходов с получением  
продуктов обогащения

Направление подготовки

6М073700-Обогащение полезных  
ископаемых

Научный руководитель:

Кандидат технических наук,  
профессор М.Р. Шаутинов Шаутинов М.Р.  
«04» 06 2019г.

Рецензент:

Старший научный сотрудник, АО  
«Институт металлургии и  
обогащения» И.В. Бондаренко

Бондаренко И.В.  
«03» 06 2019г.

Нормоконтроль:

Доктор PhD, лектор  
И.Ю. Мотовилов Мотовилов И.Ю.  
«4» 06 2019г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
заведующая кафедрой МиОПИ,  
кандидат технических наук  
М.Б. Барменшинова  
«4» 06 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
НАО Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова  
Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

Иманғалиев Нұрболат Амангелдіұлы

Исследование процесса переработки золошлаковых отходов с получением  
продуктов обогащения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Специальность 6М073700-обогащение полезных ископаемых

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

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

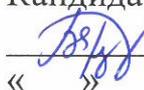
Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

6M073700 – Обогащение полезных ископаемых

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующая кафедрой МиОПИ,  
Кандидат технических наук

 М.Б.Барменшинова  
«    »    2019г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту

Тема:

Утверждена приказом руководителя университета № 1597-м. от  
« 30 » 10 2017 г.

Срок сдачи законченной диссертации « 17 » мая 2019 г.

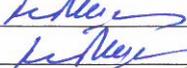
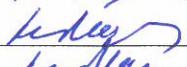
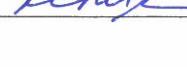
Исходные данные к магистерской диссертации:

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) исследовать вещественный и минералогический состав;
- б) исследовать гранулометрический состав и гравитационной обогатимости технологической пробы золошлаковых отходов;
- в) исследовать процессы в виброцентробежном чашевом аппарате и сепарации в магнитном поле;
- г) исследовать процессы по определению тонкодисперсного золота в золошлаковых отходах;
- д) обосновать полученных данных исследований и выбор оптимальной схемы переработки золошлаковых отходов.

Перечень графического материала:                    слайдов

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю и консультантам	Примечание
Введение	05.02.2018	
Аналитический обзор литературы	12.02.2018	
Методика исследований	23.06.2018	
Экспериментальная часть	01.10.2018	
Заключение	13.05.2019	

**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	Шаутинов М.Р.	05.02.2018	
Аналитический обзор литературы		12.02.2018	
Методика исследований		23.06.2018	
Экспериментальная часть		01.10.2018	
Заключение		13.05.2019	
Нормоконтролер	Мотовилов И.Ю.	4.05.2019	

Научный руководитель  Шаутинов М.Р.

Задание принял к исполнению обучающийся  Имангалиев Н.А.

Дата «30» 10 2017г.

## 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:** Имангалиев Нұрболат Амангелдіұлы

**Название:** Исследование процесса переработки золошлаковых отходов с получением продуктов обогащения

**Координатор:** Мэлс Шаутонов

**Коэффициент подобия 1:** 18,9

**Коэффициент подобия 2:** 1,6

**Тревога:** 2

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:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

04.06.2019

Барменщикова М.Б.

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Допуск к защите

04.06.2019

Дата

Барменщикова М.Б.



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## ОТЗЫВ

### НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию Иманғалиева Нұрболата Амангелдіұлы

6M073700 – Обогащение полезных ископаемых

Тема: «Исследования процесса переработки золошлаковых отходов с получением продуктов обогащения»

В настоящее время, с истощением запасов рудного минерального сырья, появляется необходимость переработке техногенного сырья, например, золы сжигания Экибастузских углей. Золошлаковые материалы по химическому и минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью. Поэтому проведение исследований по переработке данного вида техногенного сырья является актуальной.

Автором работы проведён анализ работ по золотонности золошлаковых отходов Экибастузских углей, а также углей Российской Федерации. В ходе проведения исследований проведён гранулометрический анализ отобранных проб золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ и распределение золота и железа в классах крупности. Определён химический состав золы.

Проведены исследования по гравитационному обогащению золошлаковых отходов с использованием лабораторного вибровинтового сепаратора и виброцентробежных чашевых аппаратов. Полученные продукты далее обогащались магнитной обработкой.

При анализе исходного сырья, а также продуктов обогащения использовались рентгенофлуоресцентный спектрометр PANalytical V.V., рентгеновский дифрактометр D & AVANCE и др. современные аналитические приборы.

Гравитационным обогащением материала класса крупности - 2 + 0 мм удалось извлечь в черновой концентрат до 45% золота с содержанием 0,71 г/т при исходном содержании 0,27 г/т.

Главная масса железа 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 целом работа по объему, качеству проведенных исследований соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертационным работам, а ее автор Иманғалиев Нұрболат заслуживает присуждения ученой степени магистра по специальности 6M073700 – «Обогащение полезных ископаемых».

**Научный руководитель**

кандидат техн.наук,

профессор

 Шаутенов М.Р.

(подпись)

«03» 06 2019 г.

## 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:** Имангалиев Нұрболат Амангелдіұлы

**Название:** Исследование процесса переработки золошлаковых отходов с получением продуктов обогащения

**Координатор:** Мэлс Шаутенов

**Коэффициент подобия 1:** 18,9

**Коэффициент подобия 2:** 1,6

**Тревога:** 2

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

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

Обоснование:

Обнаруженные в работе заисствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с тем, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

04.06.2019

Дата

Барменшинова М.Б.

Подпись Научного руководителя



## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	9
1 Изученность золотоносности углей и продуктов их сгорания в странах СНГ	11
2 Изучение гранулометрического и вещественного состава золошлаковых отходов на примере Степногорской ТЭЦ, с целью технологической идентификации как объекта обогащения	24
2.1 Гранулометрический анализ золошлаковых отходов	24
3 Гравитационные и магнитные методы обогащения узких классов крупности золошлаковых отходов	30
3.1 Определение взаимосвязи гранулометрического состава и обогатимости технологической пробы золошлакового отхода	30
4 Исследование по определению тонкодисперсного золота в золошлаковых отходах	39
4.1 Стинциляционный эмиссионный спектральный анализ по определению тонкодисперсного золота	39
4.2 Изучение взаимосвязи распределения свободного золота и сферомagnetита в зависимости от гранулометрического состава	51
4.3 Изучение распределения золота и других полезных компонентов на карте золоотвала	62
Заключение	65
Список использованных источников	66

## ВВЕДЕНИЕ

*Оценка современного состояния решаемой проблемы и ее актуальность.* 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.

Сжигаемые угли, являясь природными сорбентами, содержат примеси многих ценных полезных элементов, включая редкоземельные 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.

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, магнитных и других методов обогащения.

Золошлаковые отходы Казахстана обязаны открытию головного месторождения энергетических углей в Экибастузе и строительству привязанных к нему тепловых электростанций, позволивших решить практически все энерготрудности народного хозяйства. Гигантские угольные разрезы и дешевый способ добычи, верный спрос на уголь, не обращая интереса на его высочайшую зольность (31-43%), привел к взлету добычи угля. Общие запасы углей Экибастузского бассейна оцениваются в 11301 млн. т, именно собственно что гарантирует достояние сырьем на сотни лет. Каждый год при сжигании углей бывает замечена от 25 до 38 млн. тонн золы и по личным масштабам скопление золы сопоставимо с природными процессами. Данными же темпами должна происходить утилизация, а скопленные прежде золоотвалы имеют все шансы быть резервом для добычи подходящих составляющую.

Важные значения скопления золота в углях влекут к ним интереса как к вероятному сырьевому источнику благородных металлов, в связи с чем золото в угленосных отложениях в последнее время изучат очень деятельно. Что не наименее по прежнему мало исследованы обстоятельства скопления золота в

угольных пластах, а еще предпосылки, образования аномально больших его концентраций. Не сформированы и представления о поведении золота при сгорании углей и его рассредотачивание в продуктах горения.

Изученность золотоносности углей в СНГ и Казахстане в целом незначительна. Несколько глубже изучена золотоносность углей Западно-Сибирской плиты и Приамурья, в Казахстане исследования сконцентрированы на оценке золотоносности золоотвалов продуктов сжигания Экибастузского угля [1-5]. Нами предполагалось разработать эффективную технологию извлечения золота и железных составляющих из золошлаковых отходов по гравитационномагнитной схеме.

Гравитационное обогащение осуществляется с использованием разработанных в НАО КазННТУ им. К.И.Сатпаева центробежных чашевых аппаратов (патенты РК №25645; №30418), позволяющих интенсифицировать извлечение тонкодисперсных частиц полезного компонента.

Исходное техногенное сырье, а также продукты обогащения анализировались в сертифицированной лаборатории Института геологических наук имени К.И.Сатпаева.

При исследовании образцов применяли метод рентгеноспектрального микроанализа с использованием электронно-зондового микроанализатора марки Superprobe 733 фирмы JEOL (Япония). Анализы элементного состава образцов и фотосъемку в различных видах излучений с использованием энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY фирмы OXFORD INSTRUMENTS (Англия). Рентгенодифрактометрический анализ проводили на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3.

*Научная новизна полученных результатов.* Исследованы гранулометрический и вещественный состав зол шлаковых отходов Степногорской ТЭЦ и распределение в них золота и железа по фракциям. Выполненные лабораторные испытания по гравитационному обогащению материала класса крупности -2+0 мм показали принципиальную возможность извлечение золота (51,06%) в гравикоцентрат. Магнитным методом обогащения из класса крупности -0,1+0,44мм получен магнитный продукт с содержанием 44-47% по железу с выходом данного продукта до 50,8%. На основе сцинтилляционно-эмиссионного спектрального анализа (СЭСА) во всех фракциях исследуемой пробы золы удалось установить частицы не только тонкодисперсного золота, но и платины. Улавливание последних повысить технологические показатели процесса обогащения.

## 1. Изученность золотоносности углей и продуктов их сгорания в странах СНГ

За историю человечества исследование геохимии угольных месторождений накопилось большое количество информации об высоких содержаниях золота в различных углях. В последние 20 лет нашлись очень много золотоносных углей. Такое большое количество золота в различных углях привлекательно к человечеству в качестве сырьевого источника золота в будущем. Из за этого активно изучается золота в различных угленосных отложениях. Несмотря на все попытки, до сих пор недостаточно исследовано условия накопления Au в углях. Не выяснено механизмы и причины. Высказываются всевозможные точки зрения на природу данных аномалий. Например в работе [6] обосновывается флюидногидротермальная модель скопления Au в германиеносных углях Приморья. В то же время в работе зарекомендовал устройство инфльтрационного концентрирования великодушных металлов в углях в критерияхразмеренного режима Западно-Сибирской плиты.

Исследователями [7] получены свежие данные о рассредотачивании золота в торфах и бурых углях юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. Установлено, собственно что среднее оглавление золота в углях юрского возраста в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты значимо выше его кларка для осадочных пород и оформляет для 22 изученных углепроявлений 30 мг/т.

Тест золы угля и расплата средневзвешенного содержания в золе выделяет значение 260 мг/т при средней зольности углей 11,7 %. Более высочайшие значения скопления свойственны для углепроявлений в южной части изученного региона. Тут увеличенные сосредоточении поставлены не лишь только для углей, но и для углистых сланцев. В золе углистых сланцев выявлены аномалии до 220 мг/т Au. В кое-каких угольных пластах сосредоточение металла в золе угля выше 1 г/т, в отдельны случаях достигая 4,4 г/т. Замечена желание сокращения содержания металла в углях в направленности от периферии к центру Западно-Сибирской плиты. Собственно, собственно что все более важные аномалии в золах углей связаны с малозольными углями с зольностью до 5 %. Как правило они приурочены к маломощным ультрамалозольным пластам с зольностью 1,4...2,5 %. Для угля детально воплощенной связи содержания золота с зольностью не установлено.

Палеогеновое угленакопление в ареале представлено большей частью средне-высокозольными незрелыми рыхловатыми бурыми углями и лигнитами. Содержание золота в бурых углях и лигнитах некоторое количество ниже, чем в углях юрского возраста.

Металлоносность углей Сибири. Установлено, собственно что угли Сибири детально обогащены по сопоставлению с массовым угольным кларком [3] и данными по иным ареалам мира литофильными веществами,

соответствующими для пород щелочного ряда (Hf, Y, Zr, Nb, лантаноидами, Be, Sr и Ba) и отдельными веществами - сидерофилами (Fe, Ni, Cr, Sc, Co). Они различаются пониженными содержаниями составляющих халькофилов (Zn, Se, Cu, Ga, Pb, Te, Hg) и отдельных литофилов (V, Rb, Li, B, Th). Подобный образ геохимических ассоциаций составляющих в углях отлично согласуется с совместной геохимической специализацией интрузивно-вулканогенных и осадочных образований ареала.

Изучения зарекомендовали, собственно что более контрастные аномалии в углях Сибири образуют Se, As, Sr, Zr, Hg, Mo, Au, Sb, U, Ge, Nb, Y, Co, Br, Be и Cd. Разнообразия ситуаций угленакопления обозначили большущее многообразие геохимических и минералогических данных угольных бассейнов и месторождений. Совместно с тем, в одном ряду со специфичными особенностями отдельных бассейнов, просматриваются и совместные черты геохимической специализации углей ареала, тем более четкие для группы редкостных металлов. Для всех угольных бассейнов свойственен перемешанный литофильно-халькофильно-сидерофильный образ геохимической специализации с разным соответствием геохимических ассоциаций. Данный прецедент согласуется с данными геохимического районирования Алтае-Саянской складчатой области.

Изучения зарекомендовали, собственно что угли Сибири предназначены на Be, Ge, Se, Y, Sc, U, Au, As, Sb, Mo, Nb, Co, Zr и лантаноиды. Высочайшая контрастность аномалий редкостных составляющих разрешает предсказывать высшую возможность выявления месторождений со важными их содержаниями. Данный вывод согласуется с наличием в углях ареала промышленных концентраций Ge (Минусинский бас-сейн, Кузбасс, Западно-Сибирский бас-сейн), контрастных аномалий Au (Кузбасс, Западно-Сибирский бас-сейн), Sc (Минусинский, Западно-Сибирский бассейны), U (Канско-Ачинский, Иркутский, Западно-Сибирский бас-сейны), Be (Тунгусский бас-сейн), Y, Zr, Nb, лантаноидов (Кузбасс), Mo (Убруское месторождение).

Установлено перемена геохимической специализации углей ареала в процессе эволюции угленакопления. Перемена геотектонического режима осадконакопления буквально на всей земле Сибири одевало синхронный и региональный нрав. В следствие этого тут вероятно довольно достоверная корреляция угленосных формаций палеозойского, мезозойского и кайнозойского значений угленакопления. Это разрешает выучить эволюцию редкометального состава углей как в отдельных бассейнах, например и в Сибири в целом.

Особенностью палеозойской времена угленакопления в Сибири является важное воздействие на углеобразовательный процесс вулканической работы. Это выразилось в повсеместном обогащении углей D и C-P возраста литофильными, в что количестве равномерно и слабоуглефильными элементами, этими как U, Hf, Y, Ta, Zr, Th и Nb. На участках с сильными

прослоями пироклаستيки значения скопления данных элементов-примесей в углях имеют все шансы достигать промышленно важных величин [8, 9].

Мезозойская эра угленакопления в ареале значимо золотоносна, скандиеносна и германиеносна. В случае если германиеносность ограничена меловыми лигнитами Западно-Сибирского и Тунгусского бассейнов, то скандиеносность и золотоносность – практически повсеместное явление.

Высокие значения скопления данных составляющих свойственны для золы углей Западно-Сибирского, Канско-Ачинского, Иркутского и Кузнецкого бассейнов. Тем более ярко золотоносность и скандиеносность проявлена в Западно-Сибирском бассейне [10, 11].

Кайнозойская эра угленакопления детально унаследует геохимическую специализацию мезозоя. Но она содержит и собственные особенности. Оглавление большинства редкостных составляющих примесей в углях кайнозоя ниже, чем в мезозойских углях.

Ещё ниже их оглавление в передовых торфах. Одной из более свойственных особых индивидуальностей кайнозойской времена в ареале считается ее высочайшая ураноносность. Угли Сибири сего возраста буквально на всей земле обогащены ураном. Кайнозойское уранонакопление оказало воздействие и на мезозойские угли. Контрастные аномалии U поставлены в юрских углях Итатского, Березовского и Козульского месторождений, в палеогеновых углях Яйского и Усманского месторождений. Тут же ведомо промышленное гидрогенное Малиновское месторождение урана [12].

Этим образом, для Сибири свойственна эволюция редкометалльного состава углей от палеозоя к кайнозю. Палеозойские угли предназначены на литофильные исключительные металлы, эти как Sc, Hf, Nb, Y, Th, Ta, Ge и Zr, мезозойские – на Au, Sc и Ge, а кайнозойская – на Au, Ge и U. Из группы редкостных составляющих, характеризующихся высочайшими уровнями скопления в углях и золах углей, практический интерес в реальное время как самостоятельные нужные ископаемые имеют все шансы представлять Ge, Zr, Sc, U, Au, Ta, Y, Nb и лантаноиды.

Скандий – раз из более многообещающих составляющих для извлечения из углей. На земли Сибири наличествует некоторое количество угольных месторождений, применимых для организации промышленного получения Sc. Большой интерес представляют угли отлично освоенного Черногорского месторождения Минусинского бассейна [9]. Расчеты демонстрируют, собственно что в Черногорском месторождении ресурсный потенциал Sc довольно великоват. Имеющихся ресурсов довольно для сотворения на основе месторождения большого изготовления по попутной добыче Sc и иных элементов примесей. Раз лишь только пласт Двухаршинный способен гарантировать современное крупное употребление сего металла в направлении нескольких десятков лет.

Высокое содержание Sc свойственен и для бурых углей отдельных месторождений Канско-Ачинского бассейна. Расчеты зарекомендовали,

собственно что ресурсный потенциал Sc в Бородинском и Саяно-Партизанском месторождениях достаточен для сотворения на их основе большого изготовления по попутной его добыче. Это свойственно и для бурых углей юрского возраста Западно-Сибирского бассейна. Тут оглавление Sc в золе угля в ряде случаев выше 0,2 % [10, 13]. Впрочем возможности промышленного его извлечения из данных углей не просматриваются в связи со значимой глубиной залегания угольных пластов.

Золото. Не обращая внимания на то, собственно что нами в последние годы исполнен достаточно большой размер изучений в всевозможных бассейнах, золотоносность углей Сибири оценена все ещё мало. Не считая популярных прецедентов присутствия золотоносных углей в Кузбассе [14, 15], в последние годы высокое содержание Au установлено в углях Минусинского, Канско-Ачинского и Западно-Сибирского бассейнов [9–11].

Возможности промышленного получения золота из углей ареала нарочно не исследовались. Небольшое исследование, зарекомендовал, собственно что из золошлаковых отходов от сжигания бурых углей ведущих промышленных месторождений Канско-Ачинского бассейна гравитационными способами оно практически не извлекается [16].

Заключение вопроса об организации изготовления по извлечению золота из углей и отходов их переработки надлежит предваряться ансамблем поисково- оценочных дел. Нужно исполнить оценку ресурсной базы металла на многообещающих участках и в золоотвалах и выполнить лабораторно-технологические и промышленные проверки по извлечению металлов. Эти работы проведены для золоотвала Рефтинской ГРЭС в Челябинской области [17] и золоотвалам г. Хабаровска [18].

Закономерности рассредотачивания, формы нахождения и технологии извлечения золота из бурых углей Амурской области. А.П. Сорокиным и др. [19] были исполнены изучение процессов передвижения и локализации золота в кайнозойских угленосных отложениях, создание свежей геотехнологической почвы единственного производственного цикла здорового применения энергетического сырья с попутным извлечением сопутствующих компонент, в частности золота.

Угленосные площади занимают абсолютно конкретное состояние по отношению к золотоносным структурам. Именно связаны с ними неогеновые угленосные отложения (Сианчик, Свободное, Сергеевское и др.), а больше античные – олигоценые и палеоценовые (Ерковецкое, Райчихинское) размещаются поближе к центральным областям Зейско-Буреинского бассейна. В целом они образуют систему буферных зон, обрамляющих области сноса с золотоносными поясами, становление коих происходило в быте «трансгрессивного» расширения областей осадко и в т. ч. торфнакопления от осевой части бассейна к периферии, одновременно с продвижением фронта россыпной золотоносности в водотоках в обратном направлении.

Более исследовано в ареале Ерковецкое месторождение палеоценовых Туранского поднятия. Месторождение располагается на слабо расчлененной

прогрессивной гидросетью равнине с безоговорочными отметками 190–250 м в центре похожего артезианского бассейна. Месторождение произведено из 3-х участков: Восточный, Западный и Полуденный. Угленосность его связана с отложениями кивдинской свиты, включающей пласт I, который расщепляется на 3 трудящихся пласта мощностью от 2 до 8 м при средней – 5,2 м. В реальное время эксплуатируется Полуденный участок месторождения с глубиной залегания пласта 18 м. Качество углей (в %): влажность 35–37, зольность товарная 17,0–17,9, выход летучих 43–45, оглавление серы 0,28–0,41, фосфора 0,09–0,16, плотность 1,66 г/см<sup>3</sup>. Теплота сгорания высочайшая 6200–6400 ккал/кг, низшая 2955–3100 ккал/кг. Пласт угля, мощностью в пределах 4,5 м угля в течении 5 лет проверен в 11 сечениях сквозь 300-400 м бороздовым способом секциями 0.5-1 м на протяженности в пределах 3 км [20].

В итоге проделанных исследований установлено, собственно что распределение золота неравномерно как по разрезу пластов угля, например и по площади изученных месторождений (Сианчик, Свободное, Сергеевское, Ерковецкое и др.). Более высочайшая уровень сосредоточения золота отмечается на локальных участках в зонах сопряжения золотороссыпных месторождений и угленосных отложений, вдоль грани Зейско-Буреинского бассейна с областями сноса, т. е. буквально по периметру депрессии. На основании итогов пробирного анализа, установлено, собственно что оглавление золота в углях Ерковецкого месторождения колеблется в широких границах. В массиве из 300 проб угля больше пятидесяти процентов размещаются в перерыве от отпечатков до 5 г/т, при среднем смысле на пласт 2 г/т, а с учетом проб с содержаниями до 10 г/т – в пределах 3 г/т. Проб с концентрациями металла 20 – 40 и больше г/т – в пределах 15%.

Формы нахождения золота в углях. Микроэлементный тест углей Ерковецкого месторождения говорит, собственно что золото с большинством составляющих не показываетвоплощенной корреляционной связи. Небольшая негативная корреляция у Au с Br (анионообразующим литофилом). Мощная позитивная ассоциация меж Au и Pt, небольшая с веществами – литофилами: катионогенными – Sr и Ba, катионо- и анионогенными с переменной – Hf, Zr и V и неизменной валентностью – Ge. Скопление данных составляющих в углях в ведущем обосновано концентрационной функцией растений-углеобразователей и барьерной сорбцией торфяного или же бурогоугольного органического препараты. Электронно-микроскопическими и рентгеноспектральными исследовательскими работами установлено, собственно что золото в бурых углях представлено минеральными частичками самородного высоко-пробного золота и жесткими смесями Au-Ag, Au-Ag-Cu, Au-Cu (Ni, Zn) [21]. Самородное золото и серебро видятся на всех уровнях разреза угольного пласта. В верхних горизонтах доминируют Au-Ag минералы и самородное серебро, в нижних – почаще отмечаются частички высокопробного золота. Габариты частиц золота и серебра и их жестких смесей колеблется от  $n \cdot 10$  нм до 1 – 2 мкм, в высшей степени изредка видятся отдельные индивиды с объемами 10 – 15 мкм (рисунок 1). Более нередко

частички характеризуются флоккуляционной структурой разной степени уплотнения, с наполнением внутренних поровых мест органическим веществом.

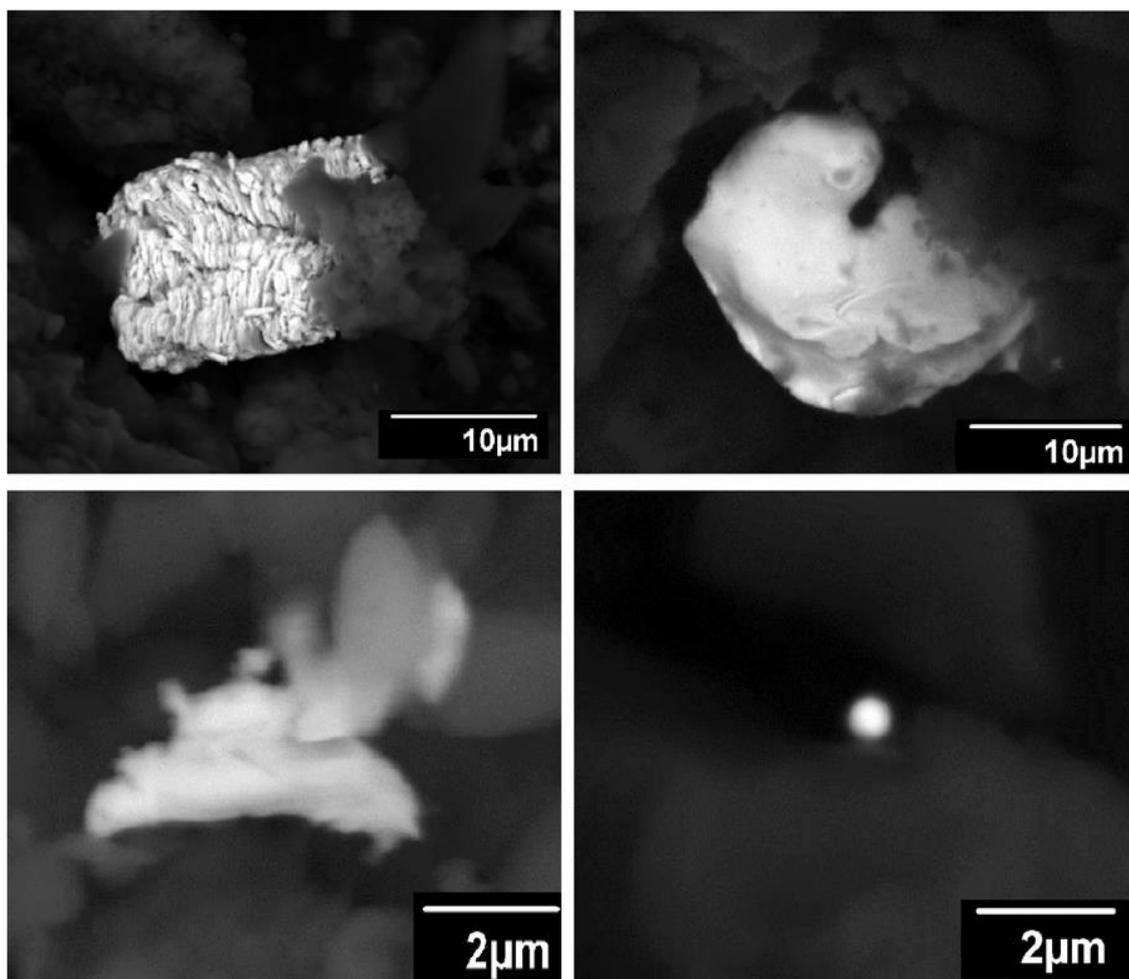


Рисунок 1 - Морфологические разновидности самородного золота из углей Ерковецкого месторождения.

В углях также обнаружены самородные элементы: Pt, Pd, Ag, Pb, Cu, Zn, Bi, Fe, Cr, Ni, W, Al, Se; твердые растворы: Ag-Sn, Cu-Zn, Pb-Cu, Fe-Ti, Fe-Cr, Cr-Ti, Ti-Ca (Fe, K, Si); сульфиды:  $FeS_2$ ,  $FeCuS_2$ , ZnS, PbS, BaS,  $Ag_2S$ ; сульфоселениды и селениды:  $Ag_2(S, Se)$ ,  $Pb(Se, S)$ , PbSe; сульфаты:  $BaSO_4$ ,  $SrSO_4$ ,  $(Ba, Sr)SO_4$ ; карбонаты:  $CaCO_3$ ,  $BaCO_3$ ; окислы:  $Fe_3O_4$ ,  $FeTiO_3$ ,  $TiO_2$ ,  $FeCr_2O_3$ ; силикаты:  $SiO_2$ ,  $ZrSiO_4$ ; алюмосиликатные минералы с широким вариационным рядом элементов (Fe, Ti, K, Ca, Na, Mg); хлориды: KCl, NaCl; фосфаты и оксиды редкоземельных элементов (Ce, La, Nd) (таблица 1). Аналогично как и золото, почти все минеральные фазы представлено микронными и микроразмерными индивидами, губчатого строения. Органическое вещество углей в виде примеси постоянно содержит Si и Al. Алюмосиликаты образуют сферические наночастицы в виде тонких сгустков

– флоккул, заполняющих ниши в отлично сохранившихся растительных остатках, создавая скопления и агрегаты различной степени уплотнения. Золото и серебро тоже отмечаются в уплотненном сростании с алюмосиликатными фазами.

Таблица 1 – Минерально-видовое разнообразие бурых углей Ерковецкого месторождения

Самородные	Твердые растворы	Сульфиды	Оксиды	Карбонаты	Силикаты	Хлориды
Au	Au-Ag	FeS <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	NaCl
Ag	Au-Ag-Cu	FeCuS <sub>2</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	BaCO <sub>3</sub>	(Fe, Ti, Mg, Ca)	KCl
Pt	Au-Cu(Ni,Zn)	ZnS	TiO <sub>2</sub>			
Pd	Ag-Sn	PbS	FeCr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
Pb	Cu-Zn	BaS				
Cu	Pb-Cu	Ag <sub>2</sub> S				
Zn	Fe-Ti	Сульфоселениды и селениды				Минералы РЗЭ
Bi	Fe-Cr	<i>Ag<sub>2</sub>(S, Se)</i>				(Ce, La, Nd) фосфор содержащие и не содержащие
Fe	Cr-Ti	<i>Pb(Se, S)</i>				
Cr	Ti-Ca(Fe, K, Si)	<i>PbSe</i>				
Ni		Сульфаты				
W		BaSO <sub>4</sub>				
Al		SrSO <sub>4</sub>				
Se						

Самородные платина и палладий закреплены на центральных горизонтах угольного пласта. Минералы ЭПГ сравнивают с Cr-содержащими минералами. Присутствие в энергодисперсионных диапазонах минералов пиков С и О, а еще ряда иных доминирующих в системе элементов связано с узкой структурной организацией минералов. Зерна БМ считаются структурно рыхлыми, а с наращиванием объемов делаются больше непроницаемыми с амебоподобными выростами по границам.

Изучение рассредотачивания минералов по разрезу пласта показывает, собственно что самородные золото и серебро видятся на всех уровнях разреза, при данном наибольшее количество самородного серебра и Au-Ag минералов замечено в его верхних горизонтах. С наращиванием глубины залегания количественное соответствие частоты встречаемости частиц золота и серебра меняется в пользу золота. Поближе к подошве пласта возникновение Au-Ag жестких различных смесей буквально не отмечается, а золото и серебро есть как самостоятельные фазы. Меж минералами Cu (самородная медь, природная латунь, халькопирит) и самородным золотом, зачастую характеризующимся примесью Cu, есть корреляционная ассоциация. Медь еще закреплена в составе самородного серебра, железа, свинца, барита, галенита. Важно пореже в небольших числах в золоте бывает замечена примесь Hg. В

самородном серебре достаточно нередко отмечаются лишь только составляющие, доминирующие в системе (C, O, Si, Al), возникновение коих разъясняется губчатым строением частиц. Габариты частиц золота и серебра колеблются от  $n \cdot 10$  нм до 1–2 мкм. Видятся отдельные индивиды с объемами 10–15 мкм.

Завышенная численность микрочастиц самородного золота и серебра отмечается в деликатных глинистых прослоях углей, приуроченных к верхним горизонтам. Частички серебра в количественном отношении преобладают над Au-содержащими частичками. Были выявлены частички медистого золота с примесями Ag, Fe и увеличенными содержаниями порообразующих составляющих. Временами самородное золото сформировало сращения с Ba-содержащими и алюмосиликатными минералами. Конкретные сращения самородного золота и серебра с алюмосиликатными минералами установлено и в углях. Скопление данных составляющих в углях в ведущем обосновано концентрационной функцией растений-углеобразователей и барьерной сорбционной функцией торфяного или же бурого органического препараты, процесс которого длится и в реальное время. Опыты, проведенные создателями с минеральными заполнителями современных хвойных растений, произрастающих на земли месторождения, продемонстрировало количество частиц золота и иных минералов, выявленных как в угле, например и в глинистых прослоях угольных пластов.

Золото в продуктах горения угля. В согласовании с доминирующими представлениями, принято считать, собственно что великодушные металлы при сжигании угля сосредотачиваются в золе. В то же время, есть материалы, свидетельствующие о высочайшей летучести золота [22]. Изучения по оценке рассредотачивания золота в продуктах горения угля ведутся в АмурНЦ ДВО РАН уже в пределах 10 лет, вначале с внедрением лабораторной, а с 2008 г. опытно-лабораторной установки. На ее основе создателями проведено системное исследование товаров горения бурого угля (золы, шлака, дыма) с целью установления форм нахождения, перенесения, скопления и перераспределения золота в них.

Фракционный и вещественный состав золы, остающейся в топочной видеокамере и уносимой с дымом, находится в зависимости от нрава рассредотачивания минеральной элемента в угле, компонент наружной и внутренней зольности и от технологии его сжигания. В опытных исследовательских работах тестирование угля весом 1 кг сервировалась в облике кусков (до 25 мм) на топочную решетку, сквозь которую нагнетался воздух для его сжигания. Из полученной золы отличались мелкозернистая фракция, недожоги и шлаки, минеральный состав коих исследовался отдельно.

Относительный тест довольно большущего массива итогов пробирного определения содержания золота в бурых углях ряда месторождений Далекого Востока и в золе, остающейся в топочной видеокамере после их сжигания, говорит, собственно что количество золота в золе относительно угля зачастую снижается на 60–95%.

Тест морфоструктурных индивидуальностей и химического состава минеральных фаз, выявленных в золе, остающейся в топочной видеокамере, говорит, собственно что основная масса минералов перебегают в золу, не претерпевая значительных перемен. Так, сфероиды магнетита всецело охраняют собственные субструктурные особенности в облике отлично выраженной блочной полигонизации. Плоскость алюмосиликатных сфероидов модифицируется только не слишком заметно с образованием отдельных участков стеклования, а в недожогах они всецело охраняют начальную структуру. Шлаки складываются за счет больше непроницаемой агрегации все возможных минеральных фаз, цементируемых алюмосиликатной стеклофазой. Новообразованные фазы большей частью сконцентрированы в узкой фракции золы и представлены оксидными и сульфатными соединениями ключевых золообразующих составляющих Si, Al, Ca, Fe, Mg, Na, K, S, которые в углях имеют личные минералы и входят в облике примеси в состав органического препараты и большинства минеральных фаз неорганического препарата.

Золото в узкой фракции золы отмечается в высшей степени изредка. Как показывают проведенные опыты, важная его доля, остающаяся в топочной видеокамере, сконцентрирована в недожогах (рисунок 2), в коих еще были выявлены и частички платины. Морфоструктурные особенности и химический состав золота в золе схож золоту начальных углях. Беря во внимание процентное соответствие золота в угле и золе, конкретное пробирным анализом, а еще то, собственно что в состав золошлаков в облике недожогов входят в среднем 10–15% несгоревшего или же отчасти спаленного угля, есть основание считать, собственно что гигантская доля золота, находящаяся там в углях, при его горении испаряется совместно с дымом, а в топке остается в ведущем золоту, законсервированное в недожогах, или довольно большие частицы, не транспортируемые газовыми термическими струями.

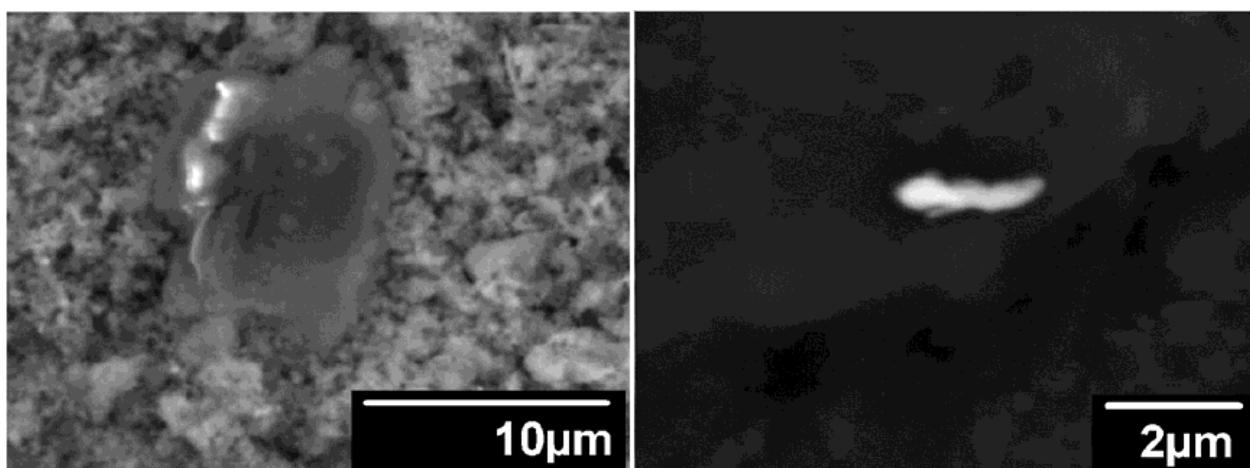


Рисунок 2 - Частицы самородного золота из тонких фракций золы и недожогов.

Дым дает собой концентрированную смесь товаров горения, состоящих, ключевым образом из томных молекул углеводородов, в ведущем в облике мелкозернистых аэрозолей, оксидов находящихся там в угле составляющих, паров воды, мелкозернистых фаз бесформенного углерода и зол уноса. По имеющимся сведениям [23], в совместной массе зольных отходов преобладает зола уноса (летучая зола), выносимая из топки совместно с горячими газами – на нее в среднем приходится в пределах 75% всех золошлаковых отходов, другие 25% – это остающиеся в топке золошлаки.

В итоге проделанных изучений установлено, собственно что на 1 стадии, в итоге конденсации чета, дым значимо очищается от газообразных и аэрозольных томных углеводородов, их оглавление при переходе ко 2 стадии конденсации понижается на порядок. Томные углеводороды перебегают в конденсат в облике микроэмульсии или же поверхностной пленки. Основная масса поставленных в углях Ерковецкого месторождения минералов самородных составляющих и жестких смесей, включая благородные металлы, уносятся с дымом в облике частиц (рисунок 3). Свидетельством такого, собственно что золото в продуктах конденсации дыма не переотложенное (восстановленное) считается его хим состав, габариты и особенности строения частиц, схожих золотосодержащим минера-лам углей. Золото в углях представлено узкой фракцией (<5 мкм). Мелкие габариты и рыхловатое флокулярное строение частиц способствует их твердофазной эмиссии и передвижения вследствие улетучивания с газообразными продуктами, образываемыми при горении. Чем мельче минеральные частички, что повыше возможность их ухода в аэрозольно-газовую фазу при сжигании [24].



Рисунок 3 - Частицы самородного золота из конденсатов паро-дымовой смеси на 1, 2 и 3 стадиях осаждения

В составе фракции, улавливаемой на 2 стадии конденсации, органическая множество уже не считается доминантной. Тут были выявлены микро-частицы минералов, находящихся там в углях, между коих сфероиды алюмосиликатов, магнетита, микроструктура коих не перетерпела изменений. На предоставленной стадии существенна толика новообразованных фаз-сульфатов и хлоридов Ca, Na и Fe, кристаллизующихся из аква растворов. Имеется желание понижения объема частиц от золы, остающейся в топочной

видеокамере и дальше по стадиям конденсации паро-дымовой смеси. Габариты частиц золота, выявленных на 2 стадии, не менее 1 мкм.

Паро-дымовая смесь, улетучивающаяся в атмосферу, большей частью произведена из водяного чета и газообразной элемента дыма. Оглавление золы уноса значимо понижается, минеральный состав в ведущем представлен мелкозернистыми алюмосиликатами, между коих были выявлены отдельные частички золота и сульфида серебра (0,1–0,3 мкм).

*Золотоносность золошлаковых образований Казахстана.* Начиная с начала 21 века нами были исследованы золоотвалы Экибастузской ГРЭС-2, Карагандинской, размывные и попавшие в р.Нура, Степногорской ТЭЦ [3]. На всех золошлаковых образованиях было обнаружено самородное золото. Но более детально были исследованы только золошлаки Степногорской ТЭЦ, функционирующей на экибастузских углях. Зола экибастузских углей интересна для многих специалистов, но является очень интересным объектом для геологов, занимающихся золотом. Надо отметить, что современные золоотвалы - это гигантские техногенные образования с неравномерным количеством золота [4]. По литературным данным [1] химический состав золы углей повсеместно выдержан и характеризуется большими содержаниями тугоплавких элементов  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (в сумме 81–91 %), в малом количестве присутствует  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$  (5–12 %). По исследованию этого же автора, зола тугоплавкая и неплавкая, температура плавления  $1400^\circ\text{--}1600^\circ\text{C}$ . Самые первые данные о золотоносности золошлаковых отходов экибастузских углей и их промышленной добычи на Рефтинской ГРЭС (Россия) показаны в работе Леонова С.Б. и др. [5], опубликованы также удивительные сведения о находках промышленных концентраций золота в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска с резким увеличением количества самородного металла [25].

Зола Степногорской ТЭЦ имеет такие характеристики: содержание  $\text{SiO}_2$  – 57,7 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 25,1 %,  $\text{CaO}$  – 3,65 %,  $\text{MgO}$  – 1,30 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 5,89 %, Собщ.- 0,15 %. Содержание С органического в зависимости от размерности исходного материала колеблется от 0,232 г/кг до 6,65 г/кг. Отмечается присутствие нефтеподобных продуктов от 0,175 г/кг до 3,30 г/кг. Среди элементов – примесей выявлены Cu (20 г/т), Pb (30 г/т), Zn (20 г/т). Кристаллическая фаза состоит из муллита, кварца (стекло), остатков несгоревшего углистого материала. По гранулометрическому составу зола Степногорской ТЭЦ очень неоднородна. На карте золоотвала в околотрубном пространстве собирается шлаки гравийно-галечной размерности, далее песчанистой и в середине – алевритовой (рисунок 4).

На эту же сторону происходит повышение содержания органических веществ и снижение содержания золота.

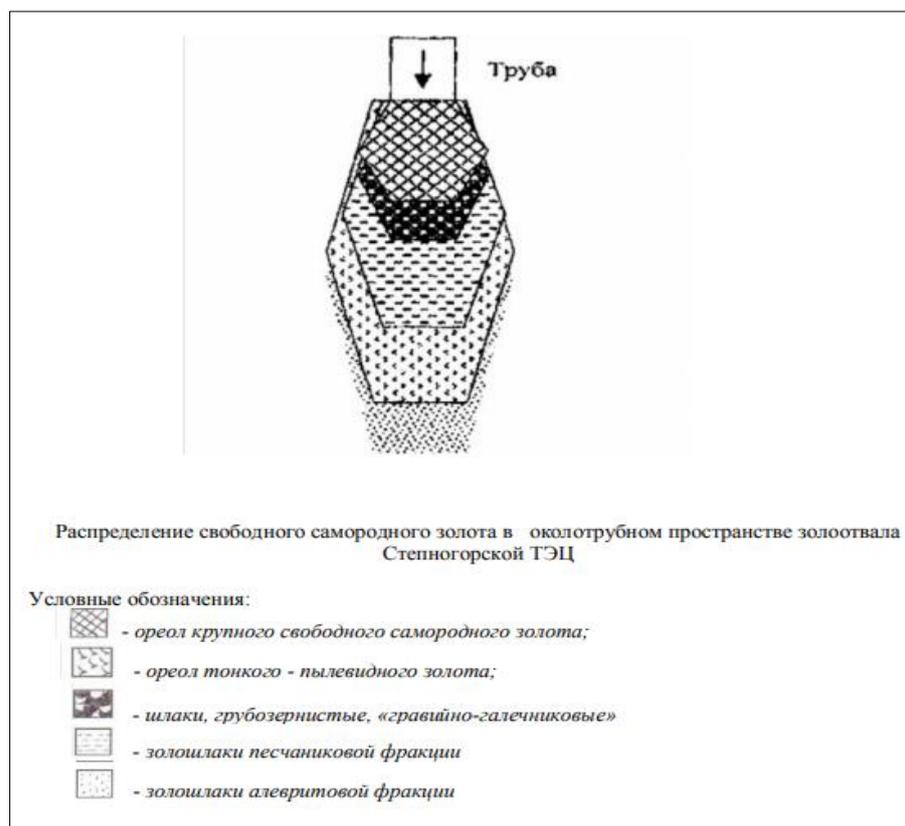


Рисунок 4 - Распределение свободного самородного золота в околотрубном пространстве золоотвала Степногорской ТЭЦ

*Обсуждение результатов литобзора и практические рекомендации.*

Полученные сведения дают сделать предварительные выводы. От полученных содержаний золота в золошлаках и особенностей его количества в золоотвале, реальное содержания золота в угленосной толще в 2-5 раз выше расчетных, т.е. на уровне 20–50 мг/т. Таким образом запасы золота увеличивается от 300 до 1500 кг, при этом обращаем внимание на нахождение кластогенных или россыпных концентраций. При неравномерном распределении золота в углях, вмещающие пустые породы которые представлены песчаниками, аргиллитами, золото может быть связано с тонкими, ленточными, быстро выклинивающимися прослоями (прибрежно-морские фации), поэтому существует шанса пропуска при обыкновенном бороздовом опробовании. Считаем, правильно рассматривать угольный разрез как линейный субгоризонтальный «штокверк», тогда более представительной для этого типа золотой минерализации является мега проба (десятки, сотни тыс. т), которая позволяет усреднить и получить достоверные результаты. В таком случае зола угля является единственным продуктом для идентификации золотонности углей. Поэтому полученные нами сведения следует считать как предварительные и целесообразно продолжить опробование текущих золопродуктов в непрерывном режиме работы ТЭЦ. 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. Интересным является обнаруженный сферомagnetит. Это не только сырье для получения железа, но и типоморфный признак сгоревших углей. Такого типа magnetит встречается во многих мезозойско-кайнозойских осадочных образованиях. По-видимому, в посткарбонное время происходило самопроизвольное возгорание углей, при перемыве золы которых переотложенных экзотических фациях «природных пожаров» могли образовываться промышленные концентрации золота.

## 2. Изучение гранулометрического и вещественного состава золошлаковых отходов на примере Степногорской ТЭЦ, с целью технологической идентификации как объекта обогащения

### 2.1 Гранулометрический анализ золошлаковых отходов

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 2.

Таблица 2 – 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, а также учитывался химический состав на основе проведенного химанализа. Впервые наиболее детально изучены все фракции и исходные материалы приведены в таблицах 3-14 и показаны на рисунке 5-7.

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. Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа показаны в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа

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

Таблица 4 – 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	

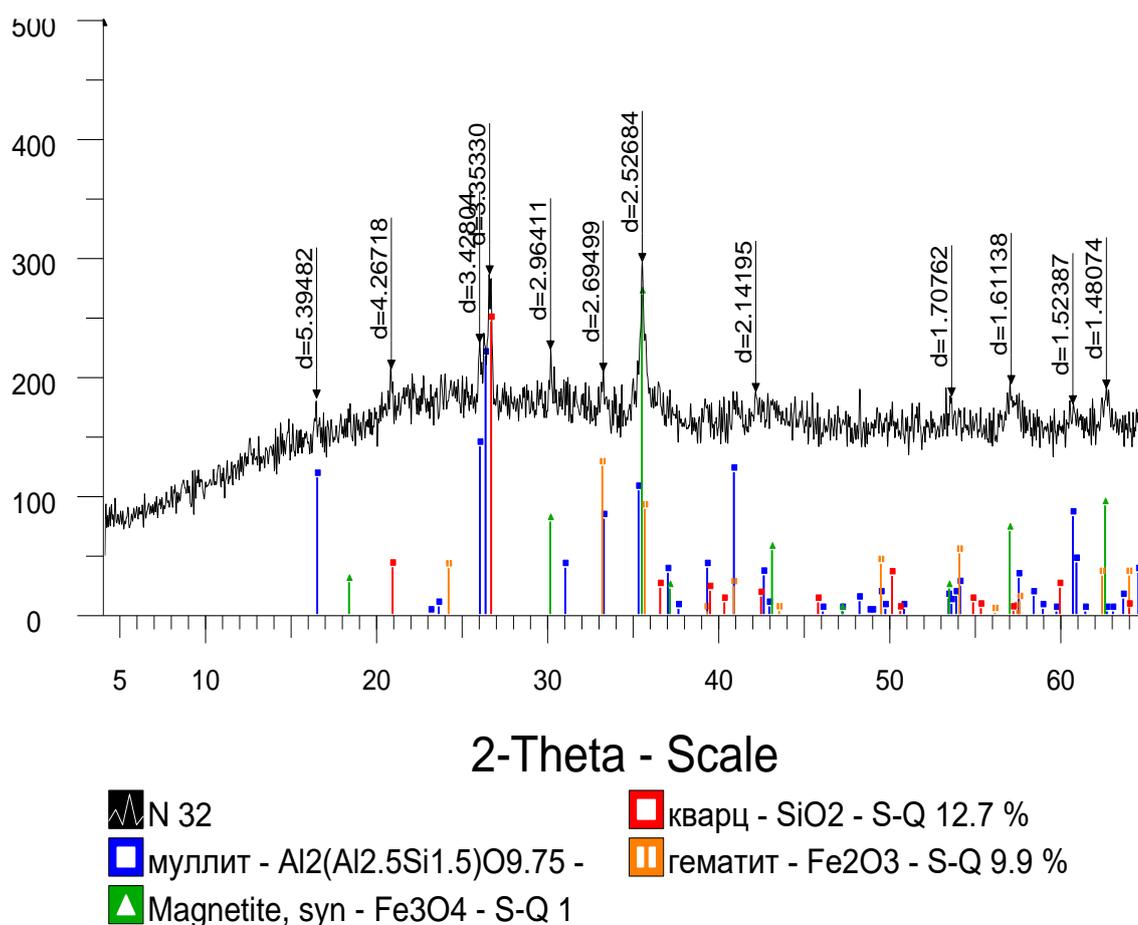


Рисунок 5 – Дифрактограмма минералов, слагающих золошлаковые отходы

Таблица 5 – Химический состав золошлаковых отходов. Все результаты в весовых, %

Элементы	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	

Минеральный и химический состав золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ представлены на рисунке 5 и в таблицах 2, 4, 5.

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа крупной (+2 мм) фракции золошлаковых отходов указано в таблице 7.

Таблица 6 – 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	Кристаллит
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 7 - Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа крупной (+2 мм) фракции золошлаковых отходов

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Муллит	$\text{Al}_2(\text{Al}_{2,5}\text{Si}_{1,5})\text{O}_{9,75}$	64.8
Кварц	$\text{SiO}_2$	18.6
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7.3
Кристаллит	$\text{SiO}_2$	5.8
Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	3.5

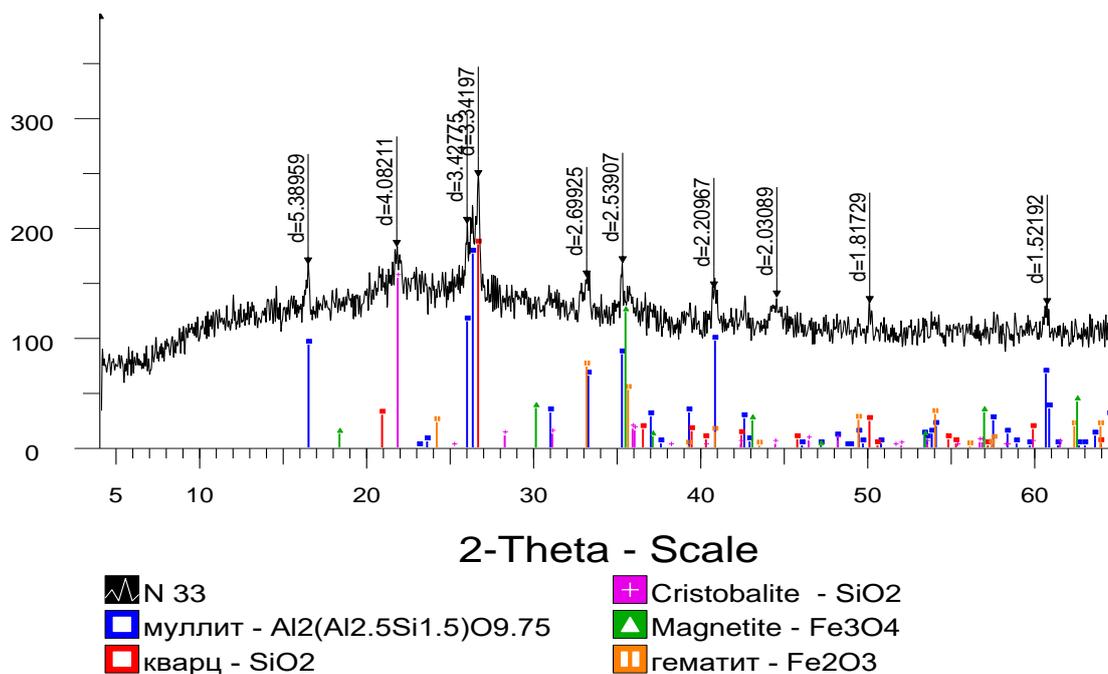


Рисунок 6 – Дифрактограмма минералов, составляющих крупную (+2 мм) фракцию золошлаковых отходов

Таблица 8– 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
Стандартное 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 6 и в таблицах 6, 8. В таблице 10 показано результаты полуколичественного рентгенофазового анализа.

Таблица 9 – Межплоскостные расстояния и фазовый состав тонкозернистой (-0,1+0,044 мм) фракции золошлаковых отходов

d, 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 10 - Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа:

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Магнетит	$Fe_3O_4$	55.7
Кварц	$SiO_2$	31.0
Муллит	$Al_2(AI_{2.5}Si_{1.5})O_{9.75}$	13.3

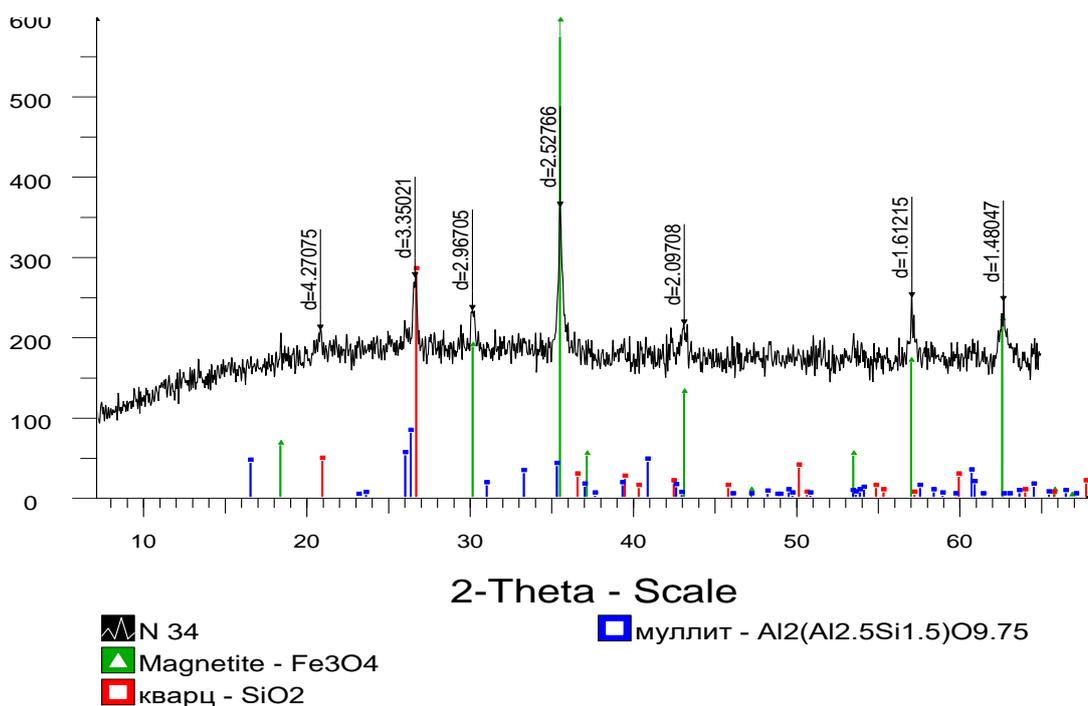


Рисунок 7 – Дифрактограмма минералов, слагающих тонкозернистую (-0,1+0,044 мм) фракцию золошлаковых отходов

Таблица 11 – 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
Анализы	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Анализ 1	40,41	0,35	2,37	10,04	16,52	0,35	0,19	6,91	0,26	0,46	22,14	100,00
Анализ 2	43,13	0,10	1,81	9,31	17,90	0,21	0,20	5,11	0,36	0,51	21,37	100,00
Анализ 3	43,51	0,27	0,96	9,45	19,84	0,17	0,26	4,55	0,51	0,53	19,95	100,00
Среднее	42,35	0,24	1,71	9,60	18,09	0,24	0,22	5,52	0,38	0,50	21,15	100,00
Станд. отклонение	1,69	0,13	0,71	0,39	1,67	0,09	0,04	1,23	0,12	0,04	1,11	
Макс.	43,51	0,35	2,37	10,04	19,84	0,35	0,26	6,91	0,51	0,53	22,14	
Мин.	40,41	0,10	0,96	9,31	16,52	0,17	0,19	4,55	0,26	0,46	19,95	

Минеральный и химический состав тонкозернистой (-0,1+0,044 мм) фракции золошлаковых отходов Степногорской ТЭЦ представлены на рисунке 7 и таблицах 9, 11.

### 3. Гравитационные и магнитные методы обогащения узких классов крупности золошлаковых отходов

#### 3.1 Определение взаимосвязи granulометрического состава и обогатимости технологической пробы золошлакового отхода

Проведены по определению взаимосвязи granulометрического состава и гравитационной обогатимости технологической пробы золошлакового отхода. На основании данных исследования были получены следующие результаты. Выполнен дробный granulометрический анализ и изучено распределение золота по фракциям (таблица 12).

Предварительно материал фракций прошел гравитационное тестирование на каскаде виброцентробежных чашевых аппаратов, позволяющих извлекать практически все свободное самородное золото, крупнее 10 мкм (таблица 13). Как видно из приведенных данных содержания 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 было указано во второй главе. Свидетельством этого является изученная нами проба.

Гравитационное обогащение золошлаковых отходов осуществляли на каскаде виброцентробежных чашевых аппаратов (рисунок 8), разработанной на кафедре МиОПИ.

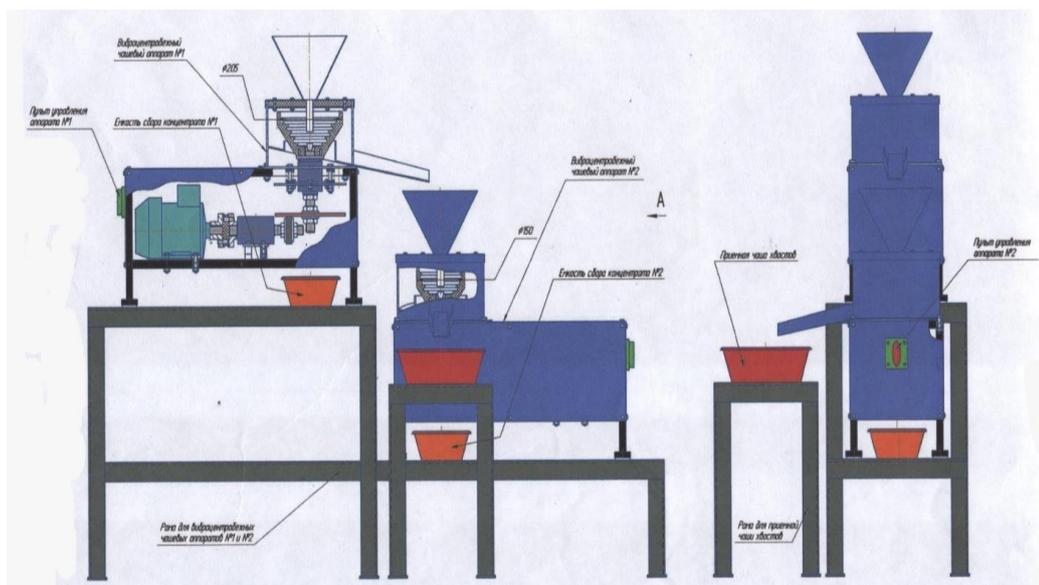


Рисунок 8 – Установка виброцентробежных чашевых аппаратов в модульном исполнении для обработки малообъемных технологических проб.

К характерным особенностям установки следует отнести её модульное исполнение, позволяющее разместить каскад из двух виброцентробежных чашевых аппаратов в любом помещении и любом удобном месте. В рабочее состояние приводится с пульта управления на боковой стенке, электродвигатели работают от напряжения 220 вольт, что сближает установку с бытовой электротехнической аппаратурой. В техническом решении важным моментом является разный диаметр рабочих чаш, в головном аппарате диаметр 205 мм, в контрольном диаметр 150 мм. Это позволяет все крупное и мелкое свободное самородное золото, а также сопутствующие тяжелые минералы (магнетит, ильменит, пирит, арсенопирит) извлекать на головном аппарате, а тонкое – пылевидное в том числе пластинки, чешуйки на контрольном.

На рисунок 9 приведен общий вид виброцентробежного чашевого аппарата.

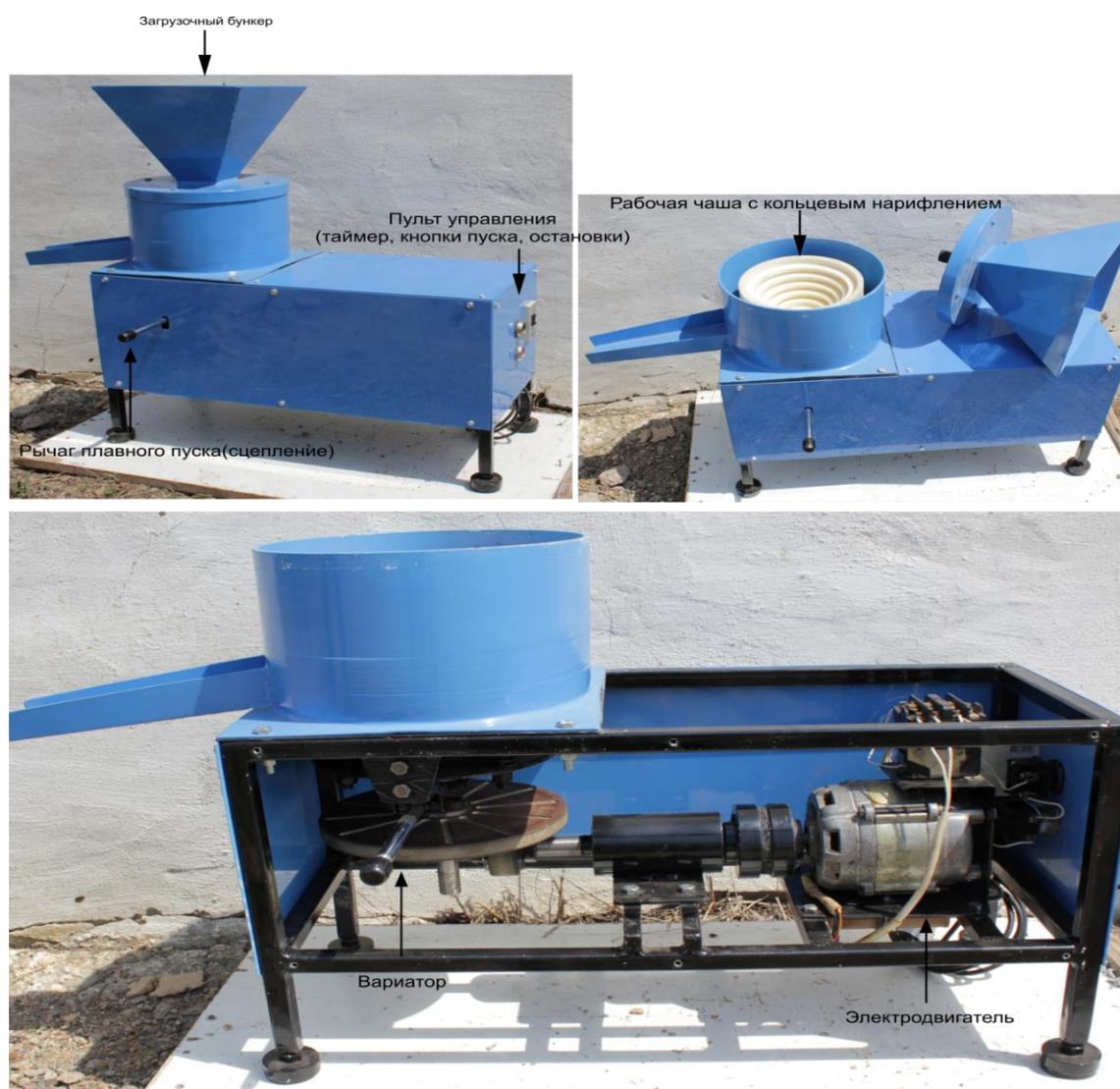


Рисунок 9 - Общий вид виброцентробежного чашевого аппарата.

Для усиления эффекта гравитации была проведена магнитная сепарация продуктов обогащения (концентрата и хвостов). Магнитную сепарацию осуществляли с помощью редкоземельных магнитов (шупах) 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 14.

Таблица 12 - Золошлаковые образования. 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

Таблица 13 - Золошлаковые образования. Результаты гравитационного тестирования материала узких классов крупности на золото

Номер пробы	Продукты обогащения	Выход		Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
		кг(г)	%		
+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

Таблица 14 - 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	%		
-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								
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	9,50	1,48	72,16
				Немагнитный	54,3	90,50	0,06	27,84
				Исходный концентрат	60,0	100	0,19	100

Приведенный материал (таблицы 12, 13) 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%).

Несмотря на это, магнитной сепарацией продуктов гравитационного обогащения удалось усилить полезный сигнал по золоту. Как следует из приведенных данных в таблице 14, 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 позволит получить довольно высокие показатели извлечения золота (51,06%) от класса крупности минус 2+0 мм (таблица 15). Показательно, что более третьей части железа извлекается попутно. Минеральной формой железа является сферомagnetит. Если содержание magnetита в концентрате вибровинтового сепаратора составляет 77% и только 23% кварца, то в хвостах обогащения magnetита – 33,1% и примерно столько же кварца (28,9%).

Таблица 15 - Результаты контрольного обогащения золотосодержащих золошлаковых образований естественной крупности на вибровинтовом сепараторе и виброцентробежных 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

На рисунке 10 представлен вибровинтовой сепаратор для улавливания свободного, а также в сростках золота.



Рисунок 10 – Вибровинтовой сепаратор

Серийно выпускаемый винтовой сепаратор, дополненный вибрационным механизмом, использовавшийся при проведении технологических испытаний по обогащению золотосодержащих песков

Для ускорения процесса расслоения и сегрегации минералов по удельному весу к обычному винтовому сепаратору устанавливается изготовленный нами вибрационный механизм.

При сравнении с отсадочными машинами, винтовые сепараторы имеют извлечение в концентрат на 5-7 % выше и характеризуются следующими преимуществами:

- отсутствие движущихся деталей, возможность визуального контроля за обогащением;
- не сложность конструкции и небольшая занимаемая место;
- не сложность изготовления и небольшая стоимость;
- простота обслуживания;
- малые эксплуатационные затраты;
- высокая производительность;
- слабая чувствительность к быстрым изменениям характера потока пульпы.

Характеристики используемого вибровинтового сепаратора. За основу берется серийно выпускаемый винтовой сепаратор СВ-500 со следующими технологическими параметрами (рисунке 10):

- Диаметр спирали желоба, мм	– 500
- Число винтовых желобов	– 4
- Шаг витка, мм	– 250
Производительность, т/ч	
- Одного желоба	– 0,3-0,5
- Аппарата	– 1,2-2
- Крупность питания, мм	– 2,0
- Содержание твердого в питании, %	– 15-40
- Затраты смывной воды, м <sup>3</sup> /ч	– 0,3
- Частота вибраций желоба, колебание/мин	– 1500

В состав винтового сепаратора входят:

- приемное устройство;
- труба – распределитель смывной воды;
- стойки;
- станина;
- винтовые желоба;
- отсекаТЕЛЬ концентрата;
- желоб отвального продукта.

Новизной является установленный на опорной раме сепаратора вибрационный механизм, передающий разнонаправленные высокочастотные вибрации на винтовой желоб (1500 колебаний/минуту). Амплитуда колебаний от 0,2 до 0,7 мм в вертикальной плоскости, регулируется пружинами.

Принцип работы вибрационного механизма. На валу электродвигателя диаметром 22мм. установлен наконечник с эксцентриком, величина эксцентриситета постоянная и определяется при проектировании вибровинтового сепаратора под каждый конкретный вид сепарируемого сырья.

Эксцентрик чрез шатун передает колебания станину и установленный на нем сепаратор. Станина представляет собой соединение опорной части и приваренной к ней цанги, в которую установлена пустотелая труба играющую роль центральной стойки, к которой прикреплены; желоб винтовой, бункер приемный, кран подачи воды и т.д.

Опорная часть станины установлена на неподвижной раме. С одной стороны на оси и с другой стороны (со стороны шатуна) на амортизационных стойках (амортизационные пружины).

Амортизационные стойки состоят из нижних пружин, верхних пружин и центральной шпильки с контргайками которые регулируют рабочий ход амортизационной стойки.

Амортизационные стойки являются, как опорой, так и гасителем переменных колебаний, частота которых составляет 1500 колебаний/мин.

Технические характеристики вибрационного механизма:

- электродвигатель	– 1,5 кВт, 1500 об/мин
- эксцентриково – шатунный механизм, шт	– 1
- амортизационные пружины, шт	– 4
- неподвижная опорная рама	– 1
- защитный кожух электродвигателя	– 1

Габаритные размеры виброционного механизма.

Длина, мм	– 720
Ширина, мм	– 650
Высота, мм	– 400
Вес, кг	– 50

Габариты вибровинтового сепаратора

Ширина, мм	– 500
Длина, мм	– 720
Высота, мм	– 2100
Вес, кг	– 85

Главным технологическим параметром вибровинтового сепаратора является выход концентрата и содержание золота в концентрате. Допускается широкий диапазон регулирования показателя выхода концентрата от 1 до 10%. С его увеличением наблюдается повышение извлечения металла, в частности из сростков и включений золота в сульфидах и оксидах железа, марганца.

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 и показаны в таблице 16.

Таблица 16 – Показатели из материала естественной крупности золошлаковых отходов из «околотрубного» пространства

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

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

## 4. Исследование по определению тонкодисперсного золота в золошлаковых отходах

### 4.1. Сцинтиляционный эмиссионный спектральный анализ по определению тонкодисперсного золота

Проведены 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 – рассмотрении 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 технологических 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 Сиб. Отд. РАН (Новосибирск) кинетическим спектральным способом (разработчик С.Б. Заякина). 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 сцинтиляционный эмиссионный спектральный анализ (СЭСА), разработан в самом начале 60-х г. прошлого века [26].

*Описание экспериментальной установки.* Программное обеспечение «Атом» [27] обеспечивает управление всеми приборами комплекса атомно-

эмиссионного спектрального анализа; отображение спектров в любом масштабе (обзор всего спектра, участка спектра, отдельной линии), совмещение изображений нескольких спектров для визуального сравнения, отображение градуировочных графиков и таблиц результатов.

Разработанное ООО «ВМК-Оптоэлектроника» программное обеспечение атомно-эмиссионного спектрального анализа включает следующие блоки [28]:

1. Модуль регистрации спектральной информации.
2. База данных зарегистрированных спектров.
3. Модуль калибровки по длинам волн.
4. Библиотека спектральных линий элементов.
5. Модуль построения градуировочных графиков.
6. Программы определения концентраций и статистической обработки результатов измерения.

Получаемая информация выдается на дисплей в виде статистически обработанных величин интенсивностей аналитических линий и фона или величин концентраций, уравнений регрессии и графиков. Данные по используемым стандартным образцам, методикам измерений, текущая аналитическая информация записываются в память ЭВМ и могут быть использованы в дальнейшей работе.

Результаты СЭСА приведены ниже (Рисунки 11, 12, 13, 14):

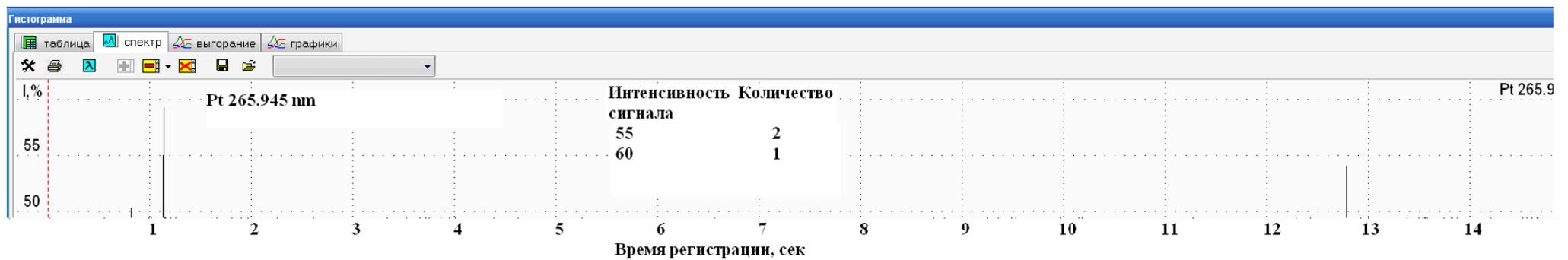


Рисунок 11 – Регистрация сигналов золота, платины и серебра в пробе, зола ТЭЦ

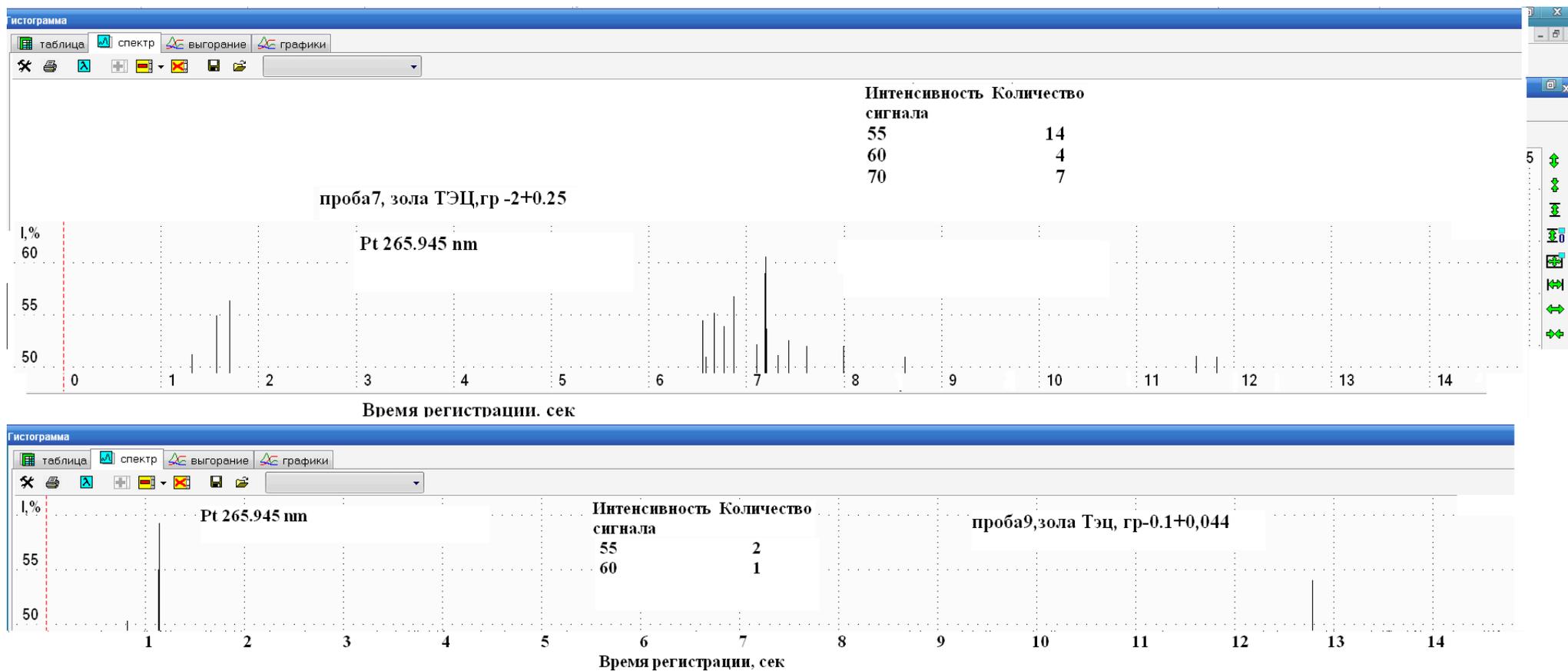


Рисунок 12 – Сравнение регистрации платины в пробах крупность -2+0,25 мм и -0,1+0,044 мм (зола ТЭЦ)

Ориентировочные результаты, без учета минеральных форм

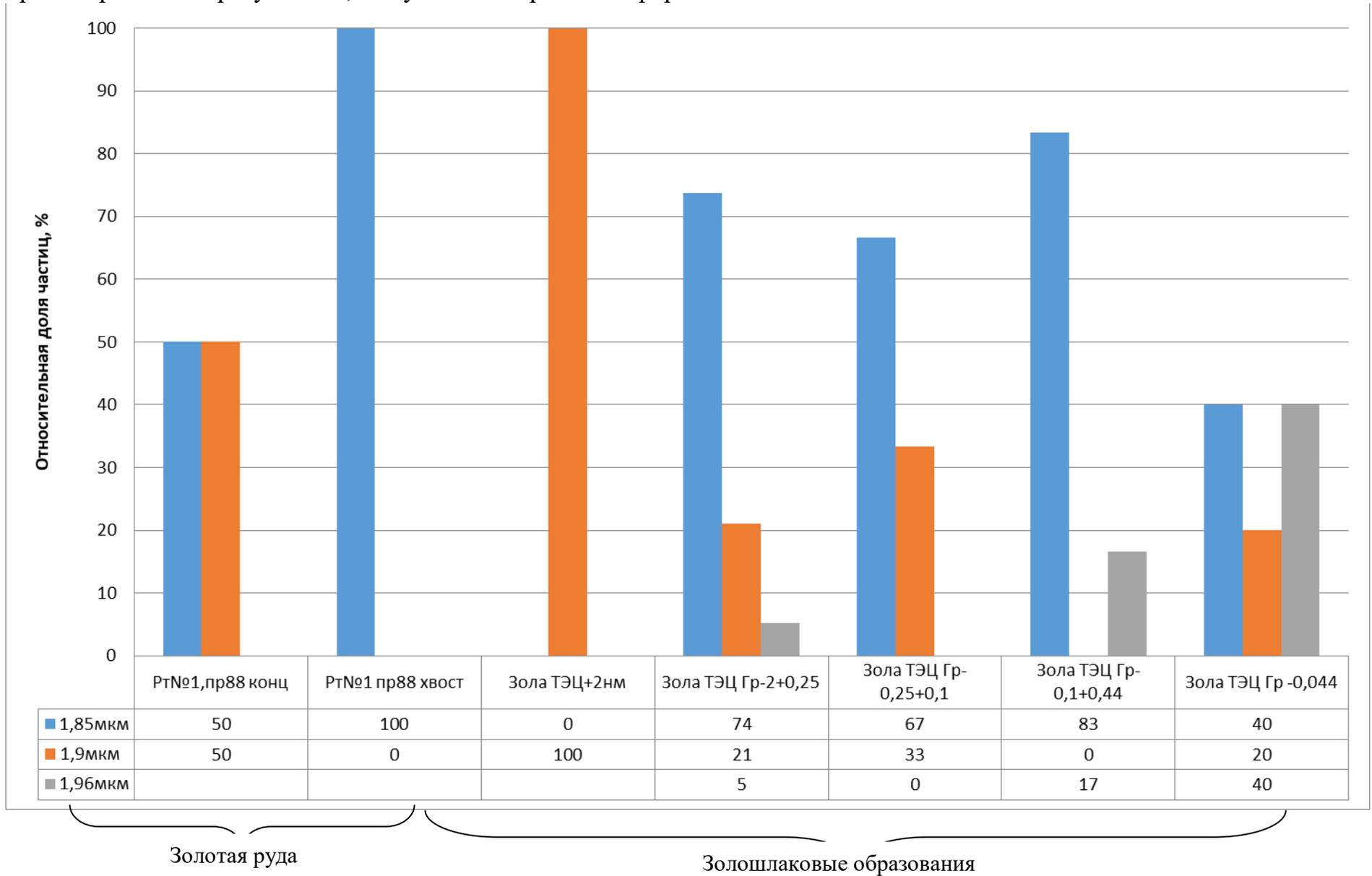
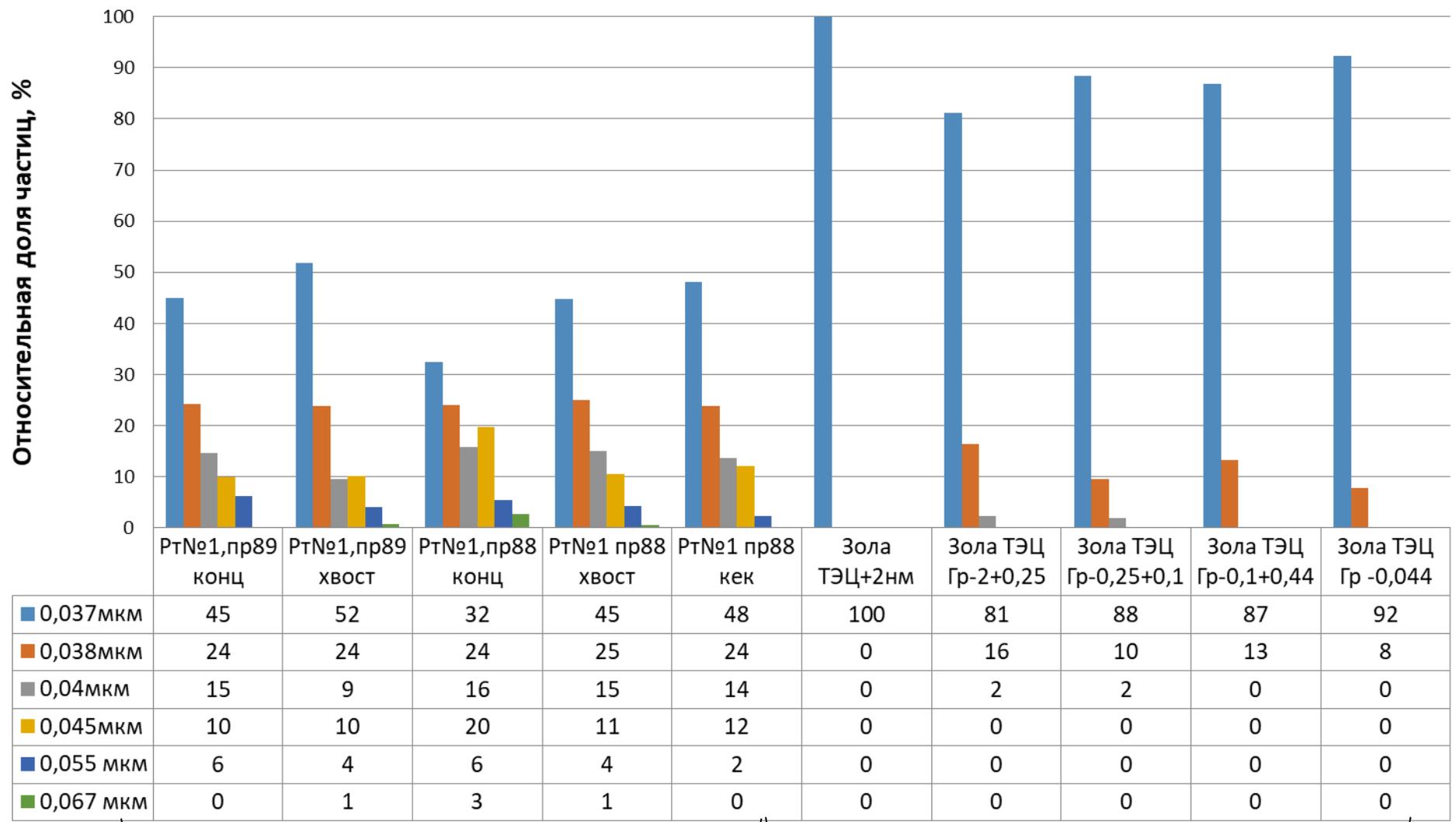


Рисунок 13 – Распределение частиц платины (для сравнения с золотой рудой)



Золотая руда

Золошлаковые образования

Рисунок 14 – Размеры частиц золота в пробах

Анализу 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. Содержание Au данные атомно – абсорбционного анализа – 0,16 г/т. Сцинтиляционный метод – 0,32 г/т. (Рисунок 15)
- Проба 2 – концентрат вибровинтового сепаратора, содержание золота – 0,77 г/т (А-А). Сцинтиляционный метод – 7,3 г/т. (Рисунок 16)
- Проба 3 – концентрат виброцентробежных аппаратов, содержание золота – 1,1 г/т (А-А). Сцинтиляционный метод – 8,9 г/т. (Рисунок 17)

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, что еще вроде бы никто не делал.

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

- Проба №6 – Кумдыкольское месторождение алмазов, «кальцифир» по эклогитам по нашим данным содержание в концентратах от 3 до 10 г/т, получили – 7,2 г/т. (Рисунок 18)

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.

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 наночастицами благородных металлов. Ниже приводятся первые результаты в этом направлении исследований. По данным сцинтилляционного 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. 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%.

Таким образом, результаты сцинтилляционного анализа не только полезны для решения геологических, но и технологических задач.

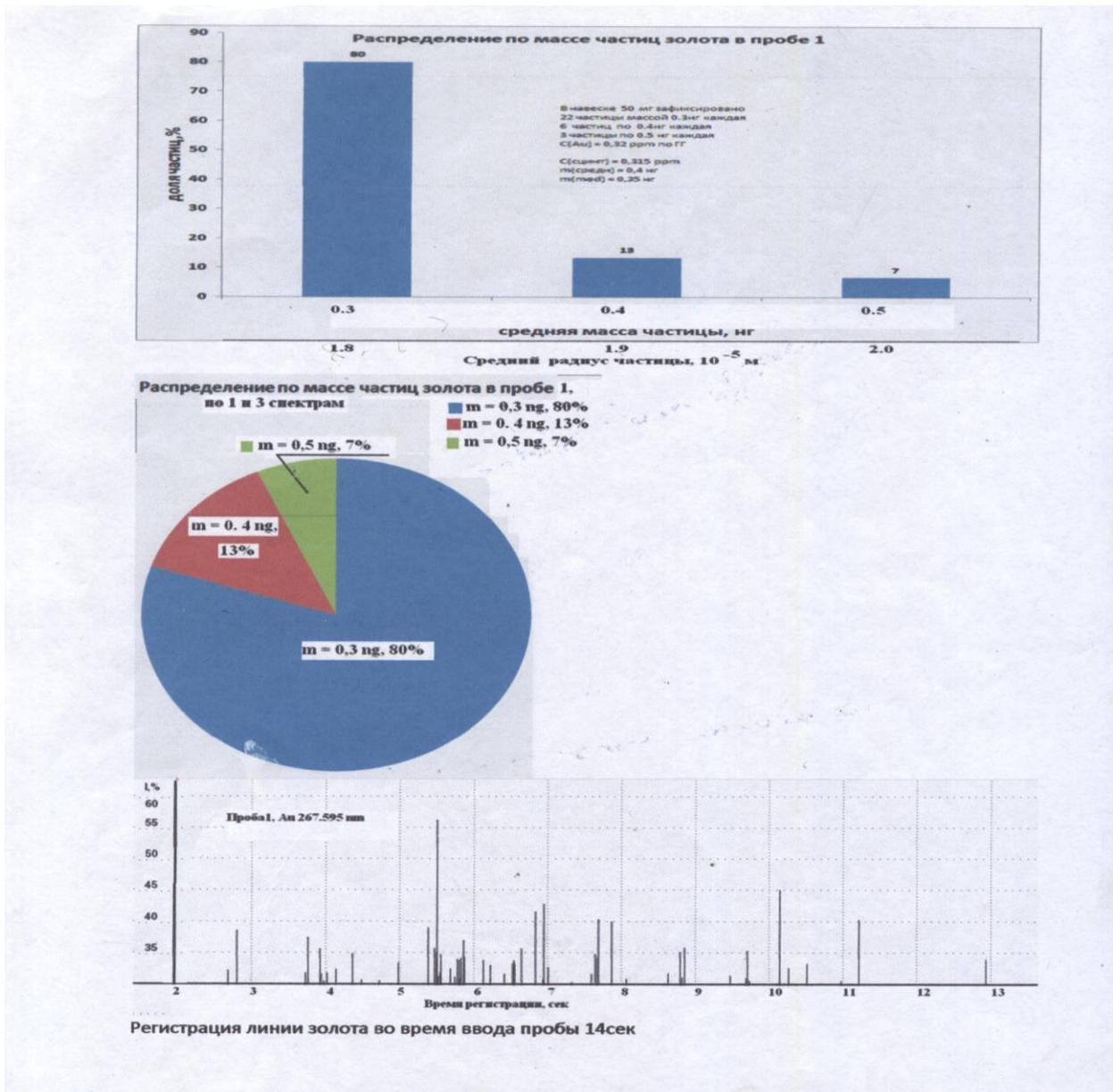
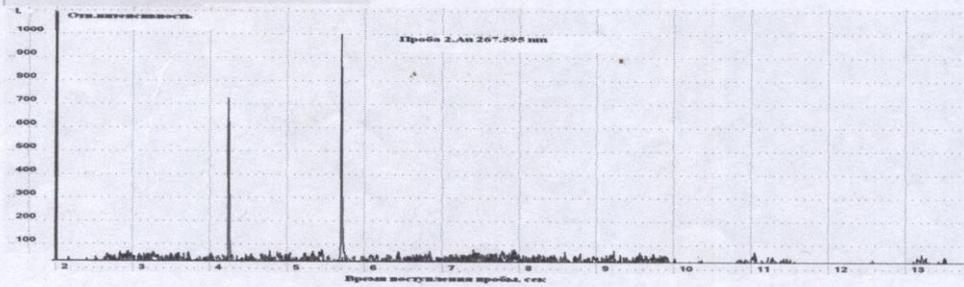
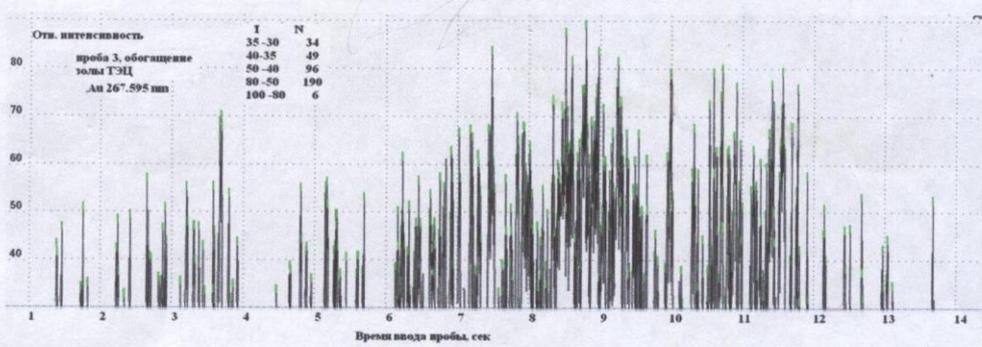
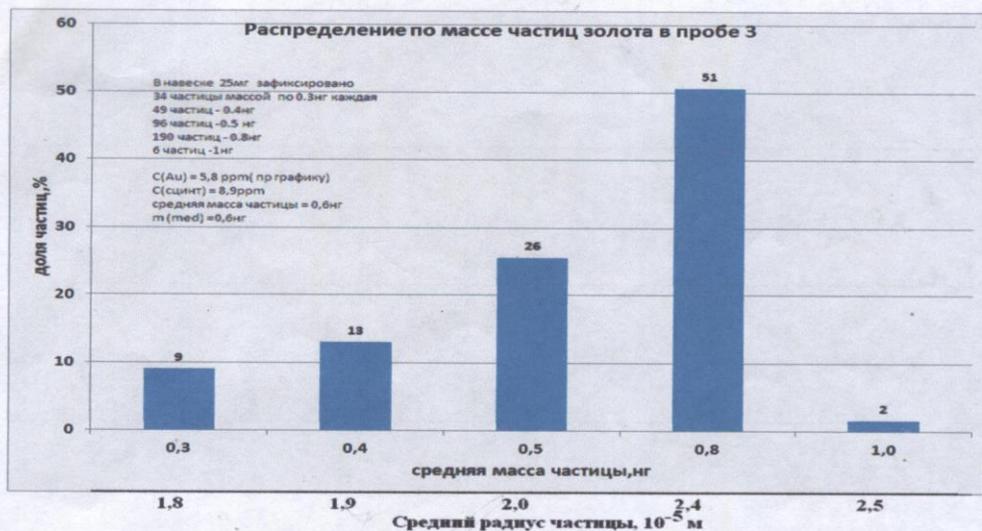


Рисунок 15 – Анализ пробы 1



Регистрация линии золота во время ввода пробы 14сек

Рисунок 16 – Анализ пробы 2



Регистрация линии золота во время ввода пробы 14сек

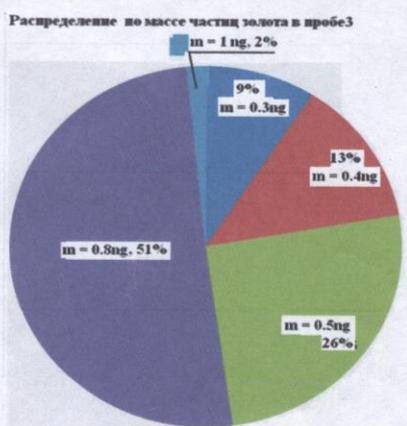
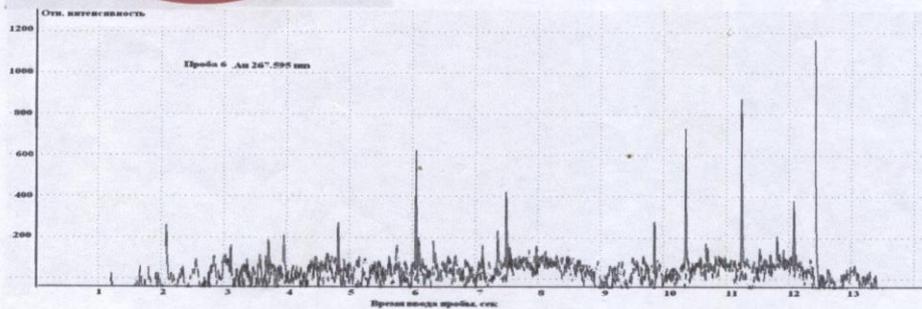
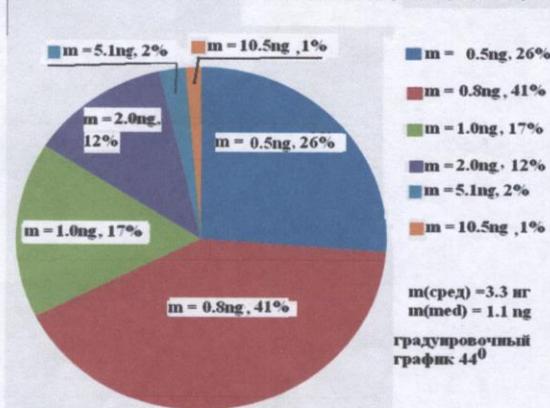


Рисунок 17 – Анализ пробы 3



Распределение по массе частиц золота в пробе 6, по 3 параллелям,



Регистрация линии золота во время ввода пробы 14сек

Рисунок 18 - Анализ пробы 6

Этот метод (СЭСА) является одним из наиболее важных и быстрых способов определения благородных металлов, и других рудных минералов, находящихся в виде самостоятельных минеральных форм в геологических пробах. Главная область использования при поисковых геолого-геохимических и биогехимических работах традиционного СЭСА - приближенно-количественные определения. Этот метод по некоторым

причинам не нашел широкого использования в аналитических лабораториях ввиду отсутствия серийных аппаратов.

Разработанный авторами кинетический спектральный способ (КСС) [28] является модифицированием сцинтилляционного метода [29] на основе использования современной системы улавливания спектров, которая дает принципиально большие возможности для изучения вещества.

Метод дает возможность проследить кинетику поступления микропримесей пробы в плазму и установить корреляцию разных групп сигналов с минеральным составом пробы. Установив зависимости интенсивности и длительности аналитического сигнала от концентрации исследуемого элемента, можно рассчитать массу частиц благородных металлов. [28, 30]

Отличия разработанного КСС от традиционного СЭСА [31] состоят в следующем: регистрируется весь спектральный диапазон и корректно учитывается фон, что существенно уменьшает влияние основы;

- зафиксирована вся диапазон интенсивностей спектральных линий,
- зафиксирование спектрального диапазона, включающего аналитические спектральные линии всех важных элементов, дает возможность вести одновременное определение концентраций этих элементов;
- последовательная зафиксирование спектров пробы (1000 спектров и более) одновременно весь рабочем спектральном диапазоне создает условия регистрацию аналитических спектральных линий всех важных элементов в течение момента времени ввода пробы. Время зафиксирование 1 спектра составляет 4 мс.

Исследование проводили на автоматизированной установке «Гранд-Поток», которая выпускается фирмой ООО «ВМК Оптиэлектроника» (г. Новосибирск) для анализа порошковых проб методом просыпки – вдувания. Установка состоит из генератора тока Fireball 40A v3, мощностью 4 Квт и спектрометра Гранд с анализатором МАЭС, высокого временного разрешения 4 мс. Регистрация спектров осуществлялась высокоскоростными многоканальными анализаторами эмиссионных спектров МАЭС [27], содержащими по 12 линеек фотодиодов БЛПП-369М1. Встроенная компьютерная программа позволяет выбирать режим работы генератора, транспортера подачи проб и модуля дополнительного взмучивания проб. Комплекс «Гранд-Поток» позволяет проводить эмиссионный спектральный анализ твердофазных дисперсных проб как в обычном интегральном режиме, так и «сцинтилляционным» способом, что обеспечивается специальным дополнением в программе «Атом».



Рисунок 19 – Фото установки (а) и дугового разряда

#### **4.2 Изучение взаимосвязи распределения свободного золота и сферомагнетита в зависимости от гранулометрического состава**

Свободное самородное золото представлено сотнями зерен. Средний размер -  $71 \times 42 \times 30$  мкм.

По морфологическим признакам отличаются золотины изометрической, шаровидной и неправильной комковидной формы, встречающиеся примерно в одинаковых соотношениях (Таблица 17). Цвет Au от ярко – желтого, желтого с бронзовым оттенком до желтовато – зеленовато – серого. Вместе с золотом в концентратах есть сферомагнетит (от 56 мкм и более), сферы кварца, железо, белый самородный металл, по – видимому, платина, гипс, арсенопирит, пирит, халькопирит, алмаз.

Таблица 17 – Морфометрическая характеристика свободного самородного золота в золе экибастузских углей (в классе крупности -2 мм) (Степногорская ТЭЦ)

Форма золотин		Размер золотин (по длинной оси), мкм						Всего	
		-20	21-70	71-98	99-140	141-280	281-420		>420
Изометричная – шаровидная		2	12	6	6	14	1	-	41
Идиоморфные (куб, октаэдр)		4	7	-	1	-	-	-	12
Комковидные (неправильной формы)		14	11	5	7	3	-	-	40
Пластинчатое, чешуйчатое		4	25	6	6	-	-	-	41
Губчатое (изометричное)		-	-	-	1	-	-	-	1
Итого	Кол-во зерен, шт	24	55	17	21	17	1	-	135
	%	17,7	40,7	12,6	15,55	12,60	0,74	-	100

На рисунке 20, 21 показан общий вид золотин в обратно – рассеянных электронах и приводится состав. Золото весьма высокопробное, в качестве единственной, незначительной примеси установлено серебро (3-5%). После обработки азотной кислотой, серебристая поверхностная часть растворилась и обнажилось «истинное» золото с примесью железа (0,52%), меди (0,66%) и цинка (0,47 %).

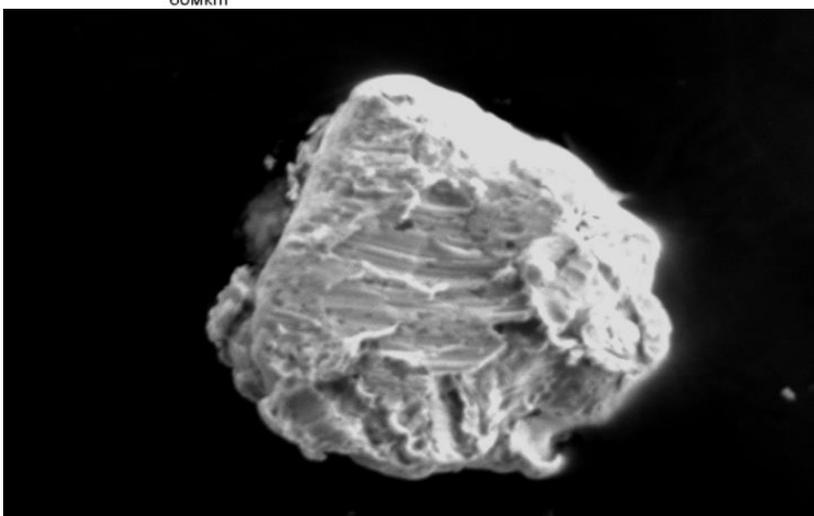
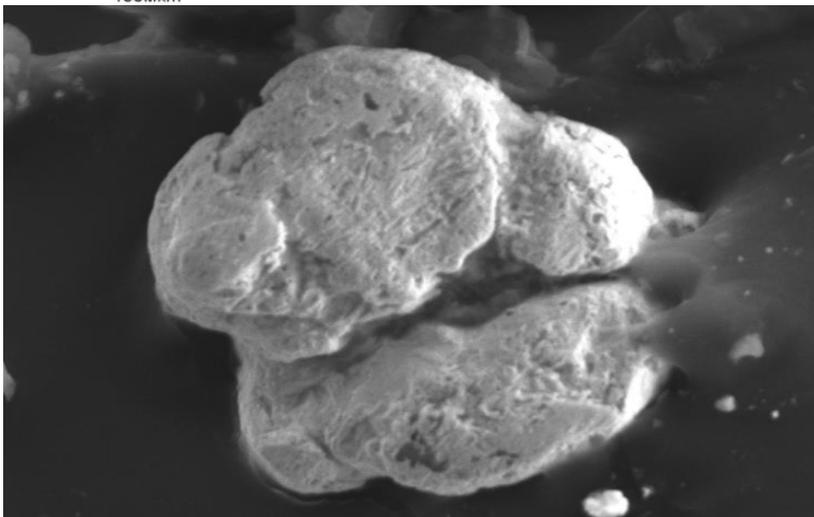
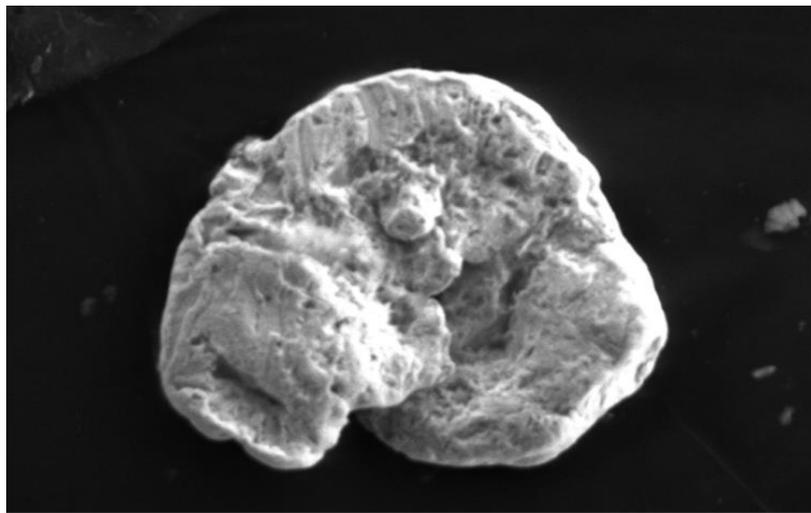
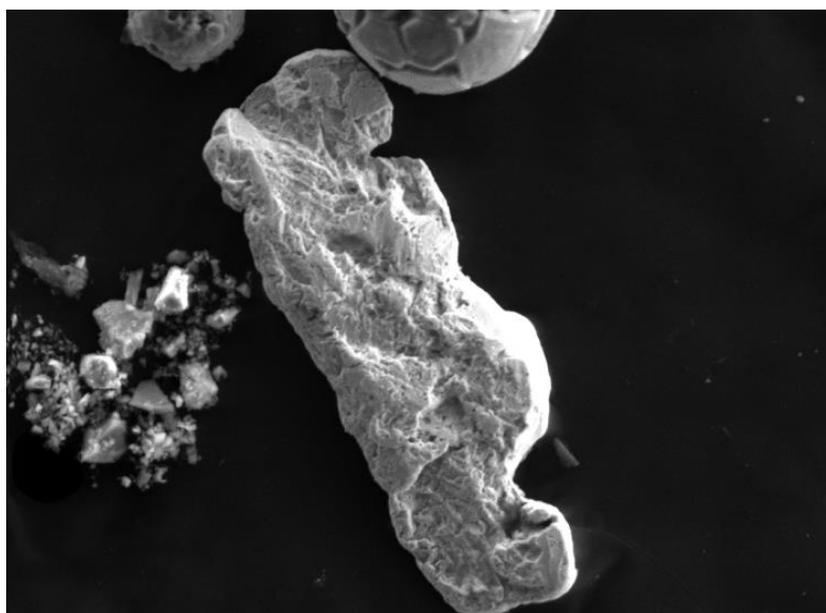
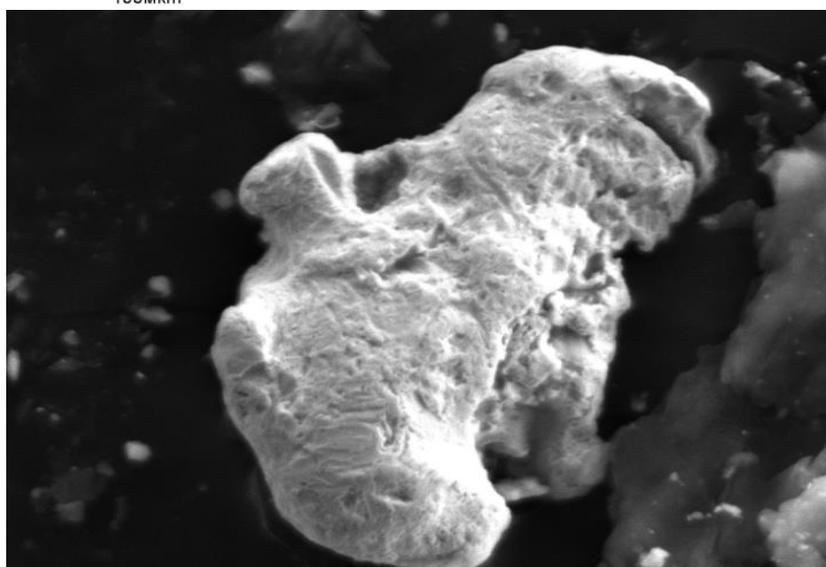


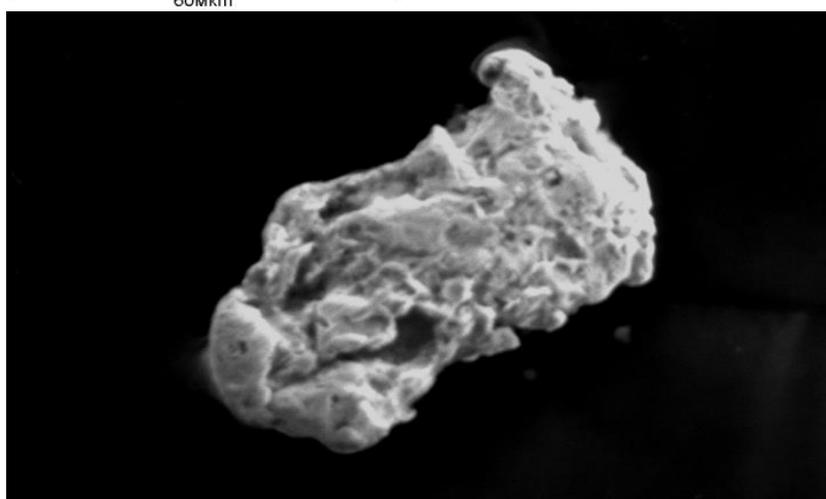
Рисунок 20 – Форма и состав золотин из концентрата вибровинтового сепаратора в обратно-рассеянных электронах



100мкм



60мкм



30мкм

Рисунок 21 – Форма и состав золотин из концентрата вибровинтового сепаратора в обратно-рассеянных электронах

Свободное самородное золото после азотной кислоты представлено на рисунке 22.

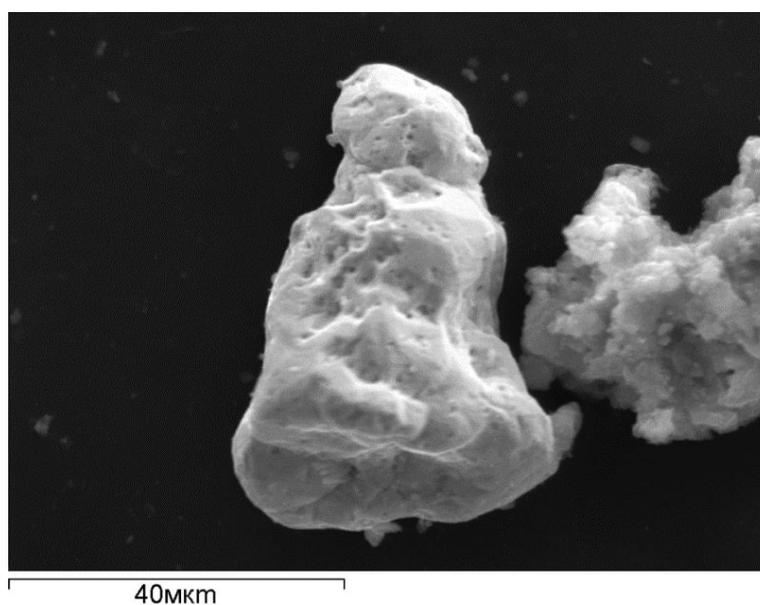
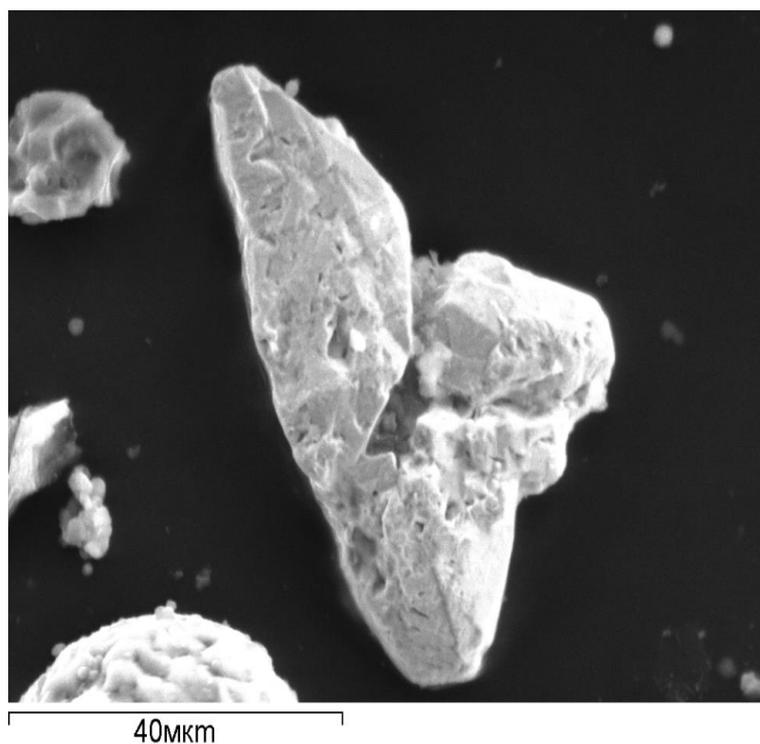


Рисунок 22 – Свободное самородное золото после азотной кислоты

Сферомagnetит представлен микронной размерности правильной формы шариками. Гранулометрический состав и результаты сухой магнитной сепарации приводятся в таблице 18.

Таблица 18 – Гранулометрический состав, распределение железа по классам крупности и результаты сухой магнитной сепарации

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

Из приведенных данных следует, что основная масса железа (сферожелезо) сосредоточена в классах -0,2+0,044 мм, выход магнитного продукта колеблется от 44,57 до 50,8%, качество продукта 44-47 % железа общего.

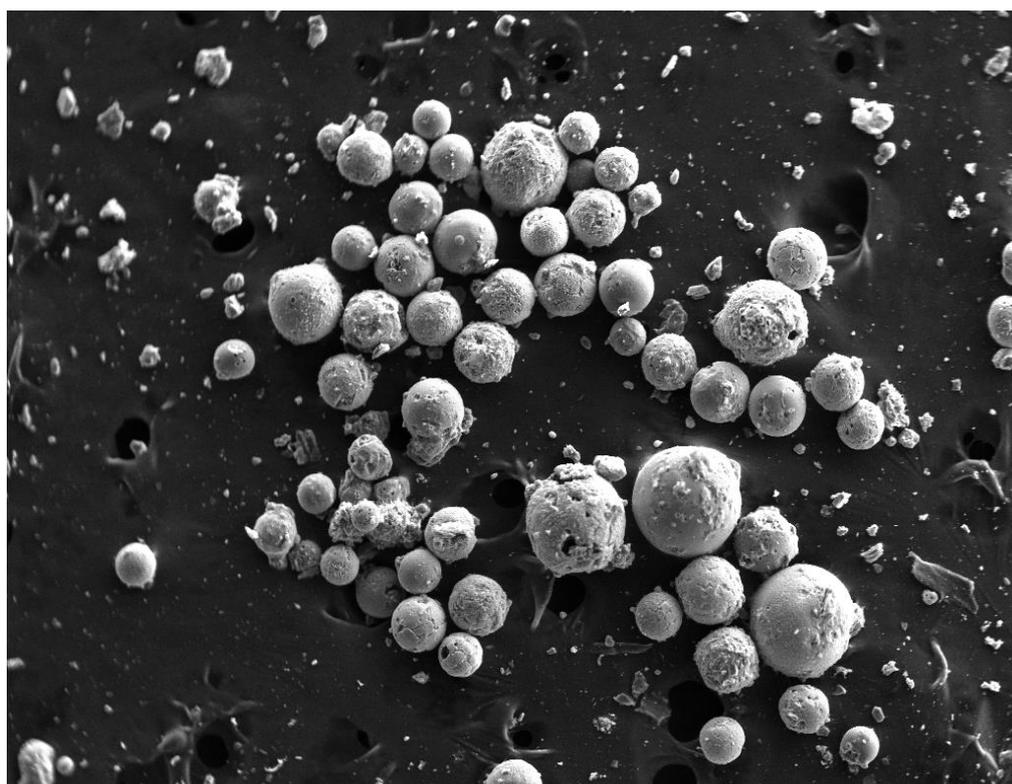
Главная масса железа представлена в виде микросфер магнетита. Состав железосодержащих микросфер приводится в таблице 19.

Таблица 19 – Химический состав микросфер железа по данным электрононозондового микроанализатора Superprobe 733

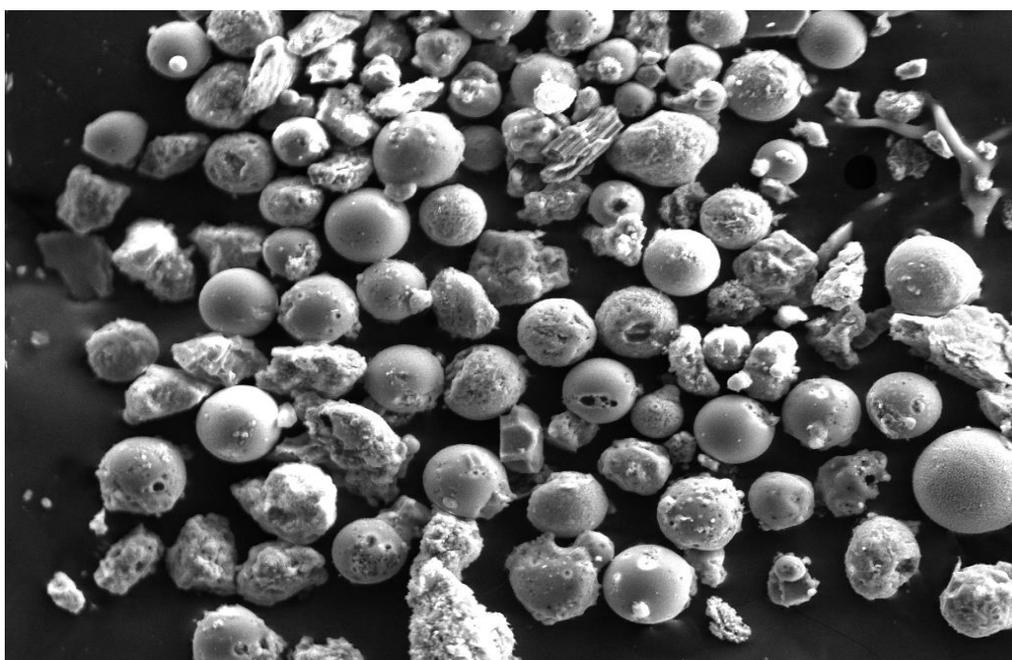
Элементы, вес. %	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итого
Анализ 1	28,92		3,80	2,36	3,78	0,16	0,11	0,02	1,02	0,09	1,67	58,06	100,00
Анализ 2	42,61	0,18	2,50	5,90	13,56	0,42		0,08	14,79	0,17	0,42	19,39	100,00
Анализ 3	28,25		1,04	1,87	3,16	0,19		0,00	3,07	0,10	0,88	58,45	100,00
Анализ 4	34,46	0,29	1,33	1,64	2,32	0,25			0,88	0,08	1,41	57,34	100,00
Анализ 5	29,09	0,17	0,65	3,99	5,97	0,13	0,12		2,99	0,24	0,82	55,85	100,00
Анализ 6	42,82	0,48	0,45	6,81	22,98	0,48	0,56	0,39	1,19	0,35	1,05	22,44	100,00
Макс.	42,82	0,48	3,80	6,81	22,98	0,48	0,56	0,39	14,79	0,35	1,67	58,45	
Мин.	28,25	0,17	0,45	1,64	2,32	0,13	0,11	0,00	0,88	0,08	0,42	19,39	

Четко выделяется по составу два типа магнитных железосодержащих микросфер, разделение которых позволит получать высококачественный легированный магнитный порошок (концентрат). Решение этой задачи повысит коммерческую привлекательность и экономическую значимость проекта.

Общий вид микросфер магнетита в обратно – рассеянных электронах показан на рисунке 23.



900мкм



300мкм

Рисунок 23 – Общий вид при разных увеличениях железосодержащих микросфер в обратно – рассеянных электронах

В связи с получением чистого продукта в виде микросфер магнетита представляется целесообразным испытать его как исходное сырье для порошковой металлургии, а также в оборонной промышленности в качестве наполнителя для поражающих элементов в артиллерийских снарядах, и создание специальных панелей с электромагнитной блокировкой и отражением радиосигналов, особенно интересны магнитные шарики с Ca – Si - Mg примесью для создания поверхностей невидимых в радарх движущих объектов.

Проведенный гранулометрический анализ с изучением минерального и химического составов с применением прецизионных методов исследований позволили выделить золото – и железосодержащие классы крупности в зернистой части материала хвостов, что является благоприятным признаком для разработки гравитационной технологии обогащения. Дальнейшие исследования будут продолжены в этом же ключе и позволят уточнить некоторые параметры соотношения железа и золота. Растворение в азотной кислоте выявило удивительные структуры перекристаллизации сферомагнетита (рисунок 24).

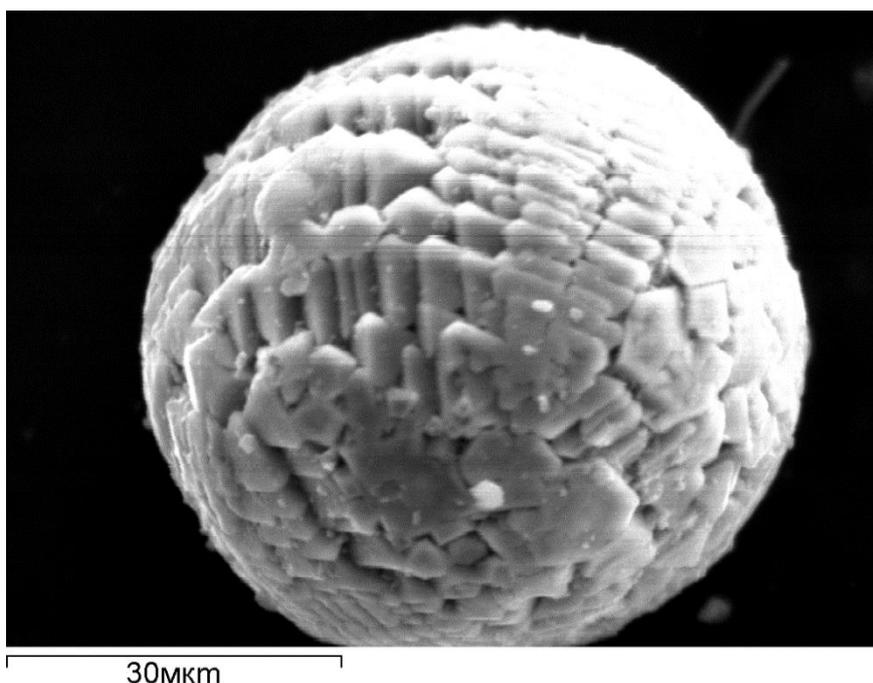


Рисунок 24 – Сферомагнетит после азотной кислоты

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован, таблица 20).

Таблица 20 - Все результаты в весовых % :

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	35,33	0,42	1,48	5,08	9,34	1,17	0,27	1,20	45,72	100,00
Спектр 2	29,87	0,25	1,28	1,10	1,49	1,19	0,03	0,93	63,93	100,00

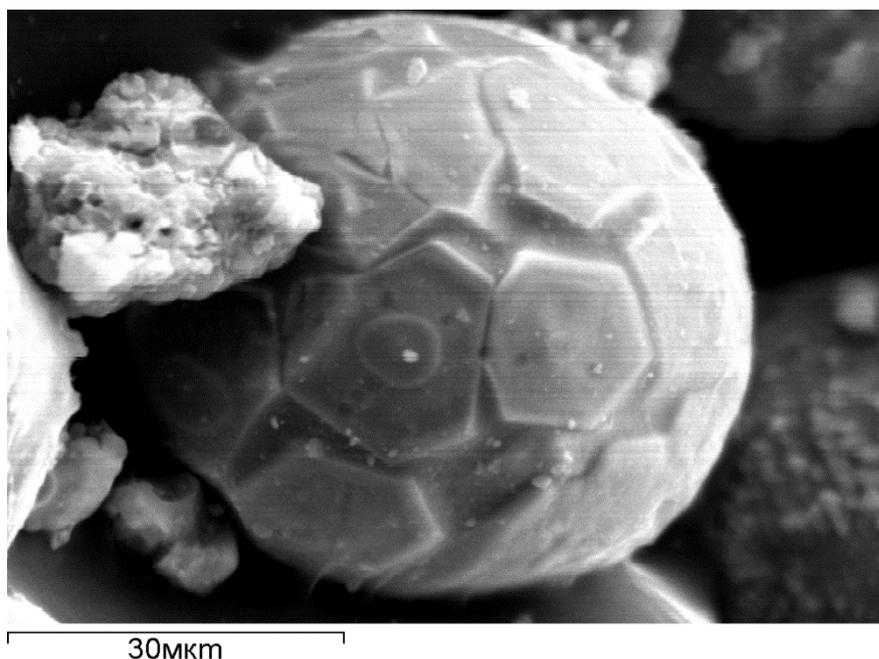


Рисунок 25 – Сферомagnetит после азотной кислоты

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован, таблица 21).

Таблица 21 - Все результаты в весовых % :

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Итог
Спектр 1	24,54	0,12	0,97	3,89	8,00	0,31	1,21	0,26	0,85	59,35	0,51	100,00
Спектр 2	33,72	0,88	1,08	4,38	8,55	0,20	1,15	0,11	0,82	48,64	0,45	100,00

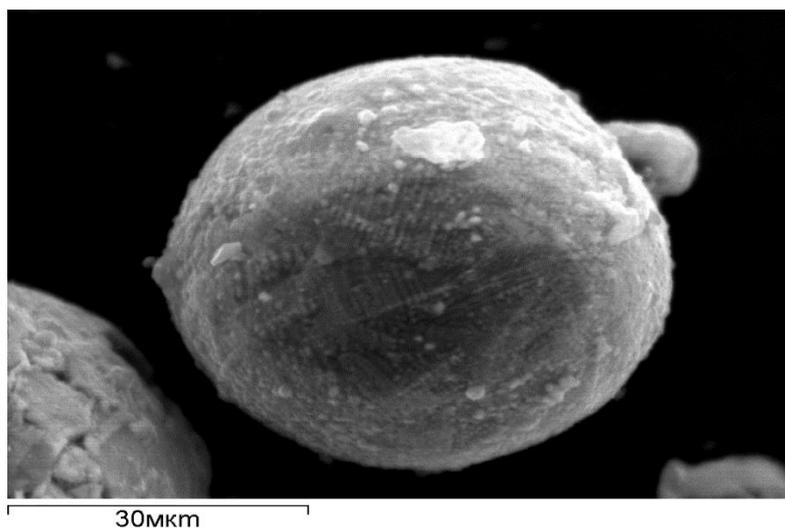


Рисунок 26 – Сферомagnetит после азотной кислоты

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован, таблица 22).

Таблица 22 - Все результаты в весовых %:

Спектр	Fe	Cu	Zn	Au	Итог
Спектр 1	3,38	1,05	1,39	94,19	100,00

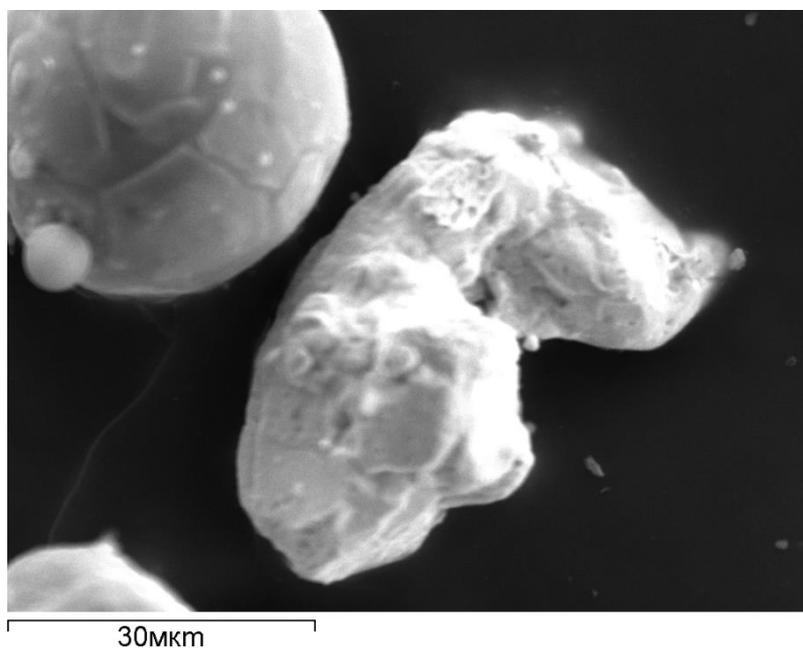


Рисунок 27 – Свободное самородное золото из золошлаковых образований после азотной кислоты

Проведенный гранулометрический анализ с изучением минерального и химического составов с применением прецизионных методов исследований

позволили выделить золото – и железосодержащие классы крупности в зернистой части материала хвостов, что является благоприятным признаком для разработки гравитационной технологии обогащения. Дальнейшие исследования будут продолжены в этом же ключе и позволят уточнить некоторые параметры соотношения железа и золота.

#### 4.3 Изучение распределения золота и других полезных компонентов на карте золоотвала

По granulометрическим параметрам золошлаковые отходы резко неоднородны. На карте золоотвала в околотрубном пространстве накапливаются шлаки гравийно-галечной размерности, далее песчанистой и в центре - алевритовой (рисунок 28).

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

Редкоземельные и радиоактивные элементы присутствуют в фоновых количествах и практического интереса не представляют.

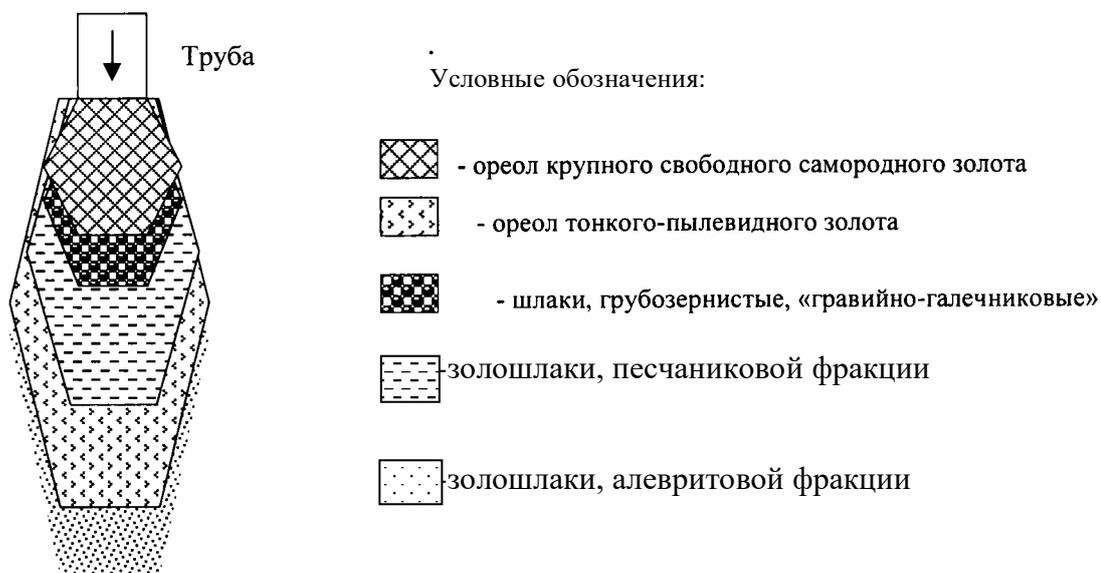


Рисунок 28– Распределение свободного, самородного золота в околотрубном пространстве золоотвала Степногорской ТЭЦ

Практически все золото (90,77 %) сосредоточено в крупных, мелких и тонких фракциях, в этих же фракциях находится практически все железо.

Таким образом, практический интерес в грубозернистых золошлаковых отходах на золото и железо будет представлять зернистый материал.

Проведенное нами обследование текущих и лежалых золоотвалов Степногорской ТЭЦ, работающей на углях экибастузского месторождения,

позволило выявить в них свободное самородное золото. Средний размер золотин составляет  $71 \times 42 \times 30$  мкм, при колебаниях от 5-10 до 350 мкм. Принципиально гранулометрическая характеристика золота ничем не отличается для лежалых и текущих золоотвалов. По морфологическим признакам золотины изометрической – шаровидной и неправильной комковидной формы присутствуют примерно в равных соотношениях. Кроме того, встречаются золотины пластинчато – чешуйчатой формы и правильные октаэдрические и кубические кристаллы. Следует отметить присутствие необычных экзотичных выделений золота гроздевидной, рачкообразной, винтообразной и других форм. Цвет золота от золотисто – желтого до зеленовато – желтого с различными оттенками, свидетельствующими о больших колебаниях присутствующих в нем примесей. Золото весьма высокопробное, содержание химически чистого золота колеблется от 94,40% до 96,85%, серебра соответственно от 3,15% до 5,60%.

Сцинтилляционным методом (кинетический спектральный способ) было установлено в исследуемой пробе золошлаковых отходов тонкодисперсное, связанное золото и платина, распределение которых по классам крупности выглядит следующим образом (таблица 23):

Таблица 23 – Распределение по классам крупности тонкодисперсных связанных золоты и платины

Класс крупности	Количество частиц, шт	
	Au	Pt
+2 мм	13	2
-2+0,25 мм	85	19
-0,25+0,1 мм	52	3
-0,1+0,044 мм	53	6
-0,044 мм	26	5

Распределение свободного самородного золота на карте золоотвала вообще неодинаково, значительная его часть находится на сливах труб (Т:Ж = 1:17) и по руслам ручьев и водотоков, работает тем же закономерностям, что и для крупного золотных россыпей (изгибы ручьев, повороты, перегибы поверхности, лжеплотики и т.п.). Совместно с золотом обнаружено значительное количество магнетита, но прямой количественной связи между магнетитом и золотом не обнаружено. Наблюдая связь между гранулометрическим составом золы, чем размер крупнее, тем много свободного золота. По данным пробирного анализа, валовое содержание золота в классе крупности +2 мм составляет 1,5 г/т, в тонких классах (-2 мм) – 0,75 г/т – 1,0 г/т, в илистых фракциях – первые мг/т. Следует заметить, по данным атомно-абсорбционного анализа содержания золота почти на порядок ниже

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований на 2018 год можно сделать следующие выводы:

1. 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.

2. 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.

3. Повышение содержания золота отмечается в немагнитной фракции, иногда превышение составляет 10 раз по сравнению с магнитной.

4. Оптической микроскопией не удалось выявить в продуктах обогащения свободное самородное золото. Содержание общего золота независимо от размерности золошлаковых образований примерно одинаковые - 0,2 - 0,4 г/т, что указывает на тонкодисперсный характер золота.

5. Методом сцинтиляционного эмиссионного спектрального анализа твердофазных дисперсных проб исследуемой золы во всех ее фракциях удалось установить частицы не только тонкодисперсного золота, но и платины.

6. 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%.

7. Изучено распределение золота и железа по фракциям крупности золошлаковых отходов рентгенодифрактометрическим методом.

8. Исследованиями установлено, что основная масса железа (сферожеležо) сосредоточена в классах  $-0,25+0,044$  мм. Магнитным методом обогащения из золошлаковых отходов получен магнетитовый концентрат с содержанием железа 44-47%, выход продукта колеблется от 44,57 до 50,8 %.

Установлено, что практически все золото (90,77%) сосредоточено в крупных, мелких и тонких фракциях, в этих же фракциях находится практически все железо.

## 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 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.

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

6 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.

7 Аномальные концентрации золота в бурых углях и торфах юго-восточной части западно-сибирской плиты. Арбузов С.И., Маслов С.Г., Рихванов Л.П., Павлов З.И.

8 Середин В.В., Арбузов С.И., Алексеев В.П. Скандиеносные угли Яхлинского месторождения, Западная Сибирь // Доклады РАН. – 2006. – Т. 409. – № 5. – С. 677–682.

9 *Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Рождествина 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.

10 *Рождествина В. И., Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Некрасова Е. Ю.* Роль диагенеза в образовании наночастиц благородных металлов в углях // Материалы международного совещания «Инновационные процессы в технологиях комплексной экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья (Плаксинские чтения – 2009)». Новосибирск. 2009. С. 83.

11 *Кузьминых В. М., Сорокин А. П., Рождествина В. И., Чурсина Л. А.* Формы нахождения и перераспределения золота по фазам при горении углей // Материалы международного совещания «Инновационные процессы в технологиях комплексной экологически безопасной переработки

минерального и нетрадиционного сырья (Плаксинские чтения – 2009)». Новосибирск. 2009. С. 274.

12 *Сорокин А. П., Рождествина В. И.* Благородные металлы в бурых углях // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Всерос. науч. конф.: сб. докладов. – М.: ИГЕМ. 2010. С. 247–249.

13 *Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Рождествина В. И., Жмодик С. М.* 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.

14 *Рождествина В. И., Сорокин А. П., Макеева Т. Б., Мудровская Н. В.* Онтогенез минералов благородных металлов Ерконецкого бурого угольного месторождения // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Всерос. науч. конф.: сб. докладов. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. 2010. С. 123–125.

15 *Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Рождествина В. И., Жмодик С. М.* Благородные металлы в кайнозойских угленосных отложениях Верхнего и Среднего Приамурья и источники их питания // Материалы XIV международного совещания "Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения") – Новосибирск: изд-во ООО "Апельсин". 2010. – 700 с.

16 *Рождествина В. И., Сорокин А. П., Мудровская Н. В., Макеева Т. Б.* Благороднометалльная минерализация бурых углей Ерконецкого месторождения (Амурская область) // Материалы III Российского совещания по Органической минералогии. Сыктывкар: Геопринт. 2009. С. 135–137.

17 *Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Рождествина В. И.* Золото в бурых углях: условия локализации, формы нахождения, методы извлечения // Доклады РАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 239–243.

18 *Рождествина В. И., Сорокин А. П.* Первые находки самородных палладия, платины, золота и серебра в бурых углях Ерконецкого месторождения (Верхнее Приамурье) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 6. С. 26–38.

19 *Куимова Н. Г., Павлова Л. М., Сорокин А. П., Носкова Л. П., Сергеева А.* Экспериментальное моделирование процессов концентрирования золота в торфах // Литосфера. 2011. № 4. С. 131–136.

20 *Сорокин А. П., Римкевич В. С., Демьянова Л. П., Артеменко Т. В.* Эффективные технологии извлечения полезных компонентов из минерального сырья Верхнего и Среднего Приамурья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2009. С. 110–120.

21 *Рождествина В. И., Сорокин А. П., Кузьминых В. М., Киселева А. А.* Золото в системе бурый уголь и продукты его горения (зола, дым) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. № 6. С. 1–15.

22 *Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В.* Элементы-примеси в ископаемых углях. – Л: Наука, 1985. – 239 с.

23 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.

24 Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 с.

25 Заякина С.Б., Шавекин А.С. Применение эмиссионной спектроскопии высокого временного разрешения для изучения распределения благородных металлов в горных породах и рудах. //Третий съезд аналитиков России. – Москва, 2017. - С.489.

26 Селюнин Д.О., Бабин С.А., Лабусов В.А. Высокоскоростные анализаторы МАЭС с интерфейсом Gigabit Ethernet // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.- 2012.- Т. 78, № 1-II. - С. 39-43.

27 АТОМ 3.3 Программный пакет для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Руководство пользователя ПО «АТОМ 3.3» / ВМК-Оптоэлектроника // Новосибирск, 2014. - 100 с.

28 Прокопчук С. И. Сцинтилляционный спектральный анализ в геологии /Отв. ред. Л. Л. Петров. Иркутск: Институт геохимии СО РАН, 1994. 64с.

29 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

30 Шавекин А.С., Купцов А.В., Заякина С.Б., Аношин Г.Н. Сравнение результатов сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа, полученных с использованием установки «Поток» и дугового двухструйного плазмотрона «Факел»//Заводская лаборатория. Диагностика материалов.2017. №1. Т.83.С.97-100.

31 Заякина С.Б., Шавекин А.С. Применение эмиссионной спектроскопии высокого временного разрешения для изучения распределения благородных металлов в горных породах и рудах.//Третий съезд аналитиков России. Москва. 2017. С.489

32 Селюнин Д.О., Бабин С.А., Лабусов В.А. Высокоскоростные анализаторы МАЭС с интерфейсом Gigabit Ethernet // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78, № 1-II. С. 39-43