

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт цветных металлов и материаловедения  
Кафедра «Технологии золотосодержащих руд»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
Е.В. Малыгин

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Характеристика гипергенного минералообразования в хранилище хвостов  
ЗИФ - 1, 2, 3 ОГОК.»

Направление: 22.04.02 «Металлургия»

Магистерская программа: 22.04.02.04 «Современные технологии в  
управлении наукоемким производством металлургического комплекса»

Научный руководитель



д-р гео-мин-их наук, профессор В.А. Макаров

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Н.А. Павлов  
инициалы, фамилия

Рецензент

\_\_\_\_\_

  
главный геолог ООО «Прикладная геология»

С.С.Сердюк

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт цветных металлов и материаловедения  
Кафедра «Технологии золотосодержащих руд»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е.В. Малыгин

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Характеристика гипергенного минералообразования в хранилище хвостов  
ЗИФ - 1, 2, 3 ОГОК.»

Направление: 22.04.02 «Металлургия»

Магистерская программа: 22.04.02.04 «Современные технологии в  
управлении наукоемким производством металлургического комплекса»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ д-р гео-мин-их наук, профессор В.А. Макаров  
подпись, дата      должность, ученая степень      инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ Н.А. Павлов  
подпись, дата      инициалы, фамилия

Рецензент \_\_\_\_\_ главный геолог ООО «Прикладная геология» С.С.Сердюк  
подпись, дата      должность, ученая степень      инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт цветных металлов и материаловедения  
Кафедра «Технологии золотосодержащих руд»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е.В. Малыхин

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме магистерской диссертации**

*Студенту Павлову Николаю Александровичу*

Группа ЦМ15-14М

Направление (специальность) 22.04.02 «Металлургия»

Тема выпускной квалификационной работы: «Характеристика гипергенного минералообразования в хранилище хвостов ЗИФ - 1, 2, 3 ОГОК»

Утверждена приказом по университету: № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР: В.А. Макаров, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Исходные данные для ВКР: теоретические предпосылки по проблеме исследования: диссертации, авторефераты диссертаций; электронные разработки по теме исследования; монографии; Стандарт организации: общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности

Перечень разделов ВКР:

- Аналитическая часть
- Научно-исследовательская часть
- Практическая часть

Перечень графического материала:

Электронная презентация

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_ В.А. Макаров  
(подпись)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ Н.А. Павлов  
(подпись)

## Аннотация

магистерской диссертации на тему: «Характеристика гипергенного минералообразования в хранилище хвостов ЗИФ - 1, 2, 3 ОГЭК».

Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к формированию на поверхности Земли значительного объема отходов. В ряде случаев отходы горного производства содержат полезные компоненты в количествах, близких к промышленному значению, и могут быть рентабельно вовлечены в повторную переработку. В этом случае они классифицируются как техногенные месторождения.

Техногенные месторождения – это техногенные образования (отвалы горнодобывающих предприятий, хвостохранилища обогатительных фабрик, шлакозольные отвалы топливно-энергетического комплекса, шлаки и шламы металлургического производства, шламо-, шлако- и т.д. отвалы химической отрасли) на поверхности Земли по количеству и качеству содержащегося в них минерального сырья пригодные для промышленного использования в настоящее время или в будущем по мере развития науки и техники.

Особенностями техногенных месторождений являются:

- 1) географически расположены только в промышленно развитых районах;
- 2) находятся на поверхности Земли и горная масса в них преимущественно дезинтегрирована;
- 3) значительно большее количество минералов (более 30 000), чем в обычных месторождениях (около 3 000).

Последняя особенность определяет сложность переработки техногенных руд, так как из-за многообразия минеральных форм, требуются иные технологии, чем для обычных руд, основанные на последних достижениях науки и техники.

Отвалы горнодобывающих и металлургических предприятий как перспективные источники сырья для различных областей индустрии издавна привлекали внимание. Так ещё в 30-е годы прошлого столетия проводились исследования по оценке медьсодержащих отходов на большинстве медных предприятий Урала. С 50-х годов отходы медного производства оценивались не только на основные, но и на полезные попутные компоненты. Исследованиями последних лет установлено, что в России к настоящему времени накоплено свыше 50 миллиардов тонн техногенных отходов, содержание металлов в которых нередко превышает их содержание в рудах, извлекаемых из недр и поступающих на обогащение. Особенно это относится к старым отвалам и хвостохранилищам, которые формировались в 40-50-е годы прошлого столетия, когда не уделялось должного внимания комплексному изучению минерального сырья, а кондиции добычи и переработки были значительно выше современных.

Известны примеры успешного вовлечения техногенных месторождений в эксплуатацию. Так ещё в 70-80-е годы прошлого столетия

Хрустальненский Солнечный, Алмалыкский и Зыряновский комбинаты приступили к ревизии отвалов прошлых лет, добыче и использованию некондиционных руд для получения дополнительной продукции (олова, свинца, цинка и др.). Однако, до настоящего времени техногенные месторождения используются в незначительных масштабах. Основной причиной этого является то, что для широкого вовлечения их в переработку требуется строительство практически новых производств, реализующих новые технологические принципы и решения, которые разработаны, как правило, на уровне научных открытий, лабораторных или полупромышленных исследований и редко доведены до промышленного производства. Отсюда высокая капиталоемкость нового строительства и реконструкции с последовательной заменой действующих технологических линий на новые производства.

На сегодняшний день техногенные месторождения золоторудной промышленности являются новым и весьма перспективным источником минерального сырья, что предопределено истощением запасов Au, развитием науки, а так же необходимостью снижения негативного влияния производства на окружающую среду.

Актуальность и значимость проблемы изучения и вовлечения в освоение техногенных золотосодержащих объектов подтверждается тем, что они лежат в русле приоритетных направлений геологоразведочных и научно-исследовательских работ. Программы в той или иной степени направлены на решение вопросов, связанных с оценкой и изучением техногенного золотосодержащего сырья, а именно:

- оценка техногенных объектов в старых золотоносных районах;
- исследование возможности извлечения золота из хвостов обогатительных фабрик;
- оценка потенциала и технологии извлечения тонкого золота из хвостов обогатительных фабрик;

Учитывая все возрастающее количество видов золотосодержащего техногенного сырья и широкое разнообразие условий его формирования и последующего хранения, для успешной ревизии такого сырья на золото представляется целесообразным решение трех задач:

- 1) разработка систематики техногенных золотосодержащих объектов;
- 2) выявление условий их формирования;
- 3) выработка методических основ для геолого-технологического изучения техногенного сырья и ускоренной его оценки.

Помимо решения важной народохозяйственной проблемы - ресурсосбережения и расширения сырьевой базы золота, актуальность работы определяется ее экологической направленностью, а именно, изучением распределения в техногенных объектах утраченных в процессе золотодобычи токсичных компонентов (цианиды, мышьяк и др.). Это весьма важно при повторном освоении техногенных месторождений и постановке работ по экологической реабилитации районов активной золотодобычи.

Таким образом, всё вышеизложенное указывает на актуальность и

народно-хозяйственную важность проблемы переработки и полной утилизации промпродукта ОГОК АО «Полюс». Уже существующие и перспективные технологические разработки позволяют оптимистически оценивать прибыльность переработки техногенных месторождений и возможность перехода к безотходным технологиям для их полной ликвидации.

**Объектом исследования** является накопленные в ходе переработки руды месторождений ОГОК АО «Полюс» хвосты ЗИФ-1,2,3.

В данной работе собраны материалы о проведенных работах на хвостохранилище ОГОК.

Хвостохранилище ЗИФ-1,2,3 расположено в Северо-Енисейском районе, п. Еруда.

В главе 1 описана методика исследования хвостов, включая полевые работы – отбор проб и камеральные – аналитические и технологические исследования. В главе 2 показаны результаты ретроспективного анализа характеристик хвостового хозяйства. В главах 3, 4, 5, 6 представлены результаты исследования хвостов. В главе 7 отражены выводы по всем результатам.

В данной работе приведена модель пространственного распределения золота и сопутствующих компонентов в разрезе хвостов и по профилю драгирования. Показаны вариации химического состава оборотной воды. Дана предварительная оценка масштабов техногенного минералообразования. Получены новые данные по формам нахождения золота в хвостах. По результатам исследования трех малых технологических проб предложена схема повторной переработки хвостов. Даны рекомендации по дальнейшему геологическому и технологическому изучению объектов.

Работа выполнена на 198 страницах.

# СОДЕРЖАНИЕ

	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	10
1.1. Методика опробования хвостов и оборотных вод	13
1.2. Методика технологических испытаний	13
1.3. Аналитическое и метрологическое обеспечение исследований	17
1.4. Графический и табличный материал по главе	18
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ	
2.1. Общие сведения о хвостохранилище и технологии намыва хвостов	
2.2. Оценка динамики накопления хвостов по годам	22
2.3. Графический и табличный материал по главе	22
3. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХВОСТОВ, ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ	23
3.1. Распределение золота и сопутствующих элементов в хвостах (по данным опробования скважин и драгирования)	39
3.2. Минеральный состав, условия залегания и физические свойства материалов хвостов	39
3.3. Анализ форм нахождения золота в твердой фазе хвостов	45
3.4. Графический и табличный материал по главе	
4. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРОТНЫХ ВОД	79
5. ПОДСЧЕТ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ХВОСТАХ И ОБОРОТНЫХ ВОДАХ ХРАНИЛИЩА	87
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХВОСТОВ В ОТНОШЕНИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ НИХ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ	99
6.1. Результаты тестовых испытаний рядовых керновых проб	104
6.1.1. Вещественный состав	106
6.1.2. Гранулометрический анализ	106
6.1.3. Тесты гравитационного обогащения рядовых проб	119
6.1.4. Тесты по цианированию рядовых проб	121
6.3. Результаты испытаний малых технологических проб	128
6.3.1. Гранулометрический анализ	129
6.3.2. Определение плотности технологических проб	135
6.3.3. Результаты исследований вещественного состава технологических проб	136
6.3.4. Результаты исследований по цианированию технологических проб	138
6.3.5. Результаты гравитационных исследований на технологических пробах	141
6.3.6. Результаты флотационных исследований на технологических пробах	146
6.4. Рекомендации по выбору принципиальной схемы обогащения при повторной переработке хвостов	156
6.5. Анализ возможностей применения технологий скважинной гидродобычи и подземного выщелачивания при повторной переработке хвостов	162
6.6. Графический и табличный материал по главе	164
7. ВЫВОДЫ	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	196
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	197