

На правах рукописи



**ДЖАППУЕВ РУСЛАН КАМАЛОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО  
ВОВЛЕЧЕНИЮ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ  
ТЫРНЫАУЗСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА**

Специальность  
2.8.8. Геотехнология, горные машины

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Владикавказ 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Кавказском горно-металлургическом институте (государственном технологическом университете)»

**Научный руководитель:**

**Рыльникова Марина Владимировна**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», профессор  
кафедры горного дела

**Официальные оппоненты:**

**Зубков Антон Анатольевич**  
доктор технических наук,  
генеральный директор  
ООО «Уралэнергоресурс»

**Дик Юрий Абрамович**  
кандидат технических наук,  
начальник отдела горной науки  
ОАО «Уралмеханобр»

**Ведущая организация:**

Институт горного дела Уральского отделения  
Российской академии наук, г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 9 июля 2024 г. в 15-00 час. на заседании диссертационного Совета Д 24.2.397.02 при ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», по адресу: 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, диссертационный зал, корпус 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»: <https://www.skgmi-gtu.ru>

Автореферат разослан 15 мая 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



М.В. Гегелашвили

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Переход к новому технологическому укладу разработки рудных месторождений предполагает вовлечение техногенного сырья в разработку в рамках единой системы комплексного освоения участка недр. В аспекте комплексного освоения рудных месторождений техногенное сырье все более значимо в качестве важного компонента минерально-сырьевой базы и имеет свою специфику технологии и организации производства, а также предполагает использование специального горнотранспортного оборудования. До настоящего времени техногенное сырье используется в незначительных масштабах. Основной причиной этого является то, что для его широкого вовлечения 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.

Несмотря на указанные трудности, перспективность использования техногенных образований очевидна, так как их использование позволяет одновременно решать целый ряд экономических, социальных и экологических проблем, включая постоянное удорожание сырья, извлекаемого из недр; снижение производительности труда и уменьшение темпов добычи полезных ископаемых в связи с постоянным ухудшением горно-геологических условий добычи; ухудшение условий труда при эксплуатации глубокозалегающих месторождений; исключение из хозяйственного оборота больших площадей земель, занятых отходами производства; загрязнение окружающей среды (почв, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха) тяжелыми металлами и солями в концентрациях, нередко превышающих допустимые нормы.

Обоснование геотехнологических решений по подготовке техногенного сырья для эффективного использования при комплексном освоении рудных месторождений призвано обеспечить расширение минерально-сырьевой базы действующих горных предприятий и соответствует целям и задачам стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г., которые предусматривают «создание условий для освоения техногенных месторождений, извлечения ценных компонентов». Необходимость эффективного использования техногенного минерального сырья определяется также «Стратегией развития промышленности России по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года».

Разработка технико-технологических и организационных мер по вовлечению в эксплуатацию хвостохранилищ Тырныаузского комбината, представленных отходами обогащения многокомпонентных руд, с отнесением этих объектов к техногенным, и обоснование технологических параметров их полезного использования с обеспечением безопасности ведения горных работ, несомненно представляют практический и научный интерес.

**Цель работы** – разработка технико-технологических решений по вовлечению в эксплуатацию техногенного сырья хвостохранилищ Тырныаузского комбината с разработкой технологий его экологически безопасного использования для обеспечения ускорения эффективной доработки Тырныаузского месторождения с решением экологических проблем природоохранного региона.

**Идея работы** заключается в исследовании факторов и обосновании параметров технологий добычи и комплексного использования складированных хвостов Тырныаузской обогатительной фабрики на основе установленных закономерностей их распределения в массиве хвостохранилища и термических процессов преобразования для использования в закладке выработанного пространства Эльбрусского рудника с приданием требуемой нормативной прочности с учетом условий залегания и стадийности извлечения техногенных запасов для сохранения экологической среды природоохранного региона.

Достижение поставленной цели и реализация идеи обеспечены решением следующих научно-практических задач:

- обобщение опыта вовлечения в эксплуатацию отходов обогащения многокомпонентных руд;
- анализ условий складирования, хранения, объемов накопления хвостов обогащения многокомпонентных руд Тырныаузского месторождения;
- систематизация природных и техногенных экологических рисков хранения отходов переработки многокомпонентных руд в условиях высокогорья Северного Кавказа;
- исследование факторов, определяющих условия вовлечения в эффективную и безопасную эксплуатацию техногенных образований из отходов переработки многокомпонентных руд Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината;
- исследование вещественного состава и структуры лежалого в хвостохранилищах Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината техногенного сырья для обоснования технологий, последовательности, стадийности и параметров его вовлечения в эксплуатацию с целью ускорения эффективной доработки запасов одноименного месторождения;
- разработка технологических рекомендаций и обоснование параметров горнотехнической системы комплексного освоения запасов Эльбрусского ГОКа с оценкой эколого-экономической эффективности и обеспечением экологически сбалансированного использования.

**Предмет исследования:** параметры технологических процессов комплексного освоения техногенных образований Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината.

**Объект исследования:** отходы переработки многокомпонентных руд Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината.

**Методы исследования.** Анализ источников научно-технической информации, минералогический и структурно-графический анализ вещественного состава и структурных характеристик отходов обогащения многокомпонентных

руд, экспериментальные лабораторные исследования по извлечению ценных компонентов из техногенного сырья после переработки многокомпонентных руд, термогравиметрический анализ, современные методы компьютерного моделирования, технико-экономические расчеты с обработкой результатов исследований методами математической статистики.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Ускорение и обеспечение эффективности доработки Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд с решением экологических проблем природоохранного высокогорного региона достигается путём применения для твердеющей закладки камер лежалых хвостов обогащения Тырнаузской фабрики на основе районирования массива хвостохранилища по вещественному составу с активизацией вяжущей активности хвостов, извлеченных из прудковой зоны, путем обжига при температуре 750 градусов и последующей механоактивации.

2. Подбор составов твердеющей закладочной смеси следует производить дифференцированно в зависимости от мощности отрабатываемых залежей и стадийности извлечения камер с учетом установленной динамики набора прочности закладочной смесью на основе исходных и обожженных хвостов обогащения прудковой зоны с добавлением при необходимости цемента в установленных пропорциях.

3. При отработке рудных залежей мощностью до 20 м заполнение камер I стадии следует проводить закладочными смесями на основе хвостов обогащения, извлеченных из прудковой зоны, в равных пропорциях обожженных и исходных хвостов, с добавлением цемента 120-200 кг/м<sup>3</sup> смеси в зависимости от длины камеры, при большей мощности залежей для заполнения выработанного пространства камеры I стадии следует применять бесцементные смеси на основе обожженных хвостов обогащения, извлеченных из прудковой зоны.

4. Для заполнения камер II стадии отработки при мощности рудных залежей до 15 м заполнение выработанного пространства камер следует производить закладочной смесью на основе в равных пропорциях обожженных и исходных хвостов обогащения прудковой зоны с добавлением 120 кг цемента, при мощности залегания 15-20 м рекомендуется бесцементная закладка на основе обожженных хвостов прудковой зоны, а при мощности залегания свыше 20 м для закладки следует использовать хвосты пляжной зоны с укреплением верхнего слоя в камере высотой 1 м составом с добавлением цемента 100 кг/м<sup>3</sup> смеси.

#### **Научная новизна работы:**

1. Концепция доработки Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд с использованием для закладки лежалых хвостов обогащения одноименной фабрики, базирующаяся на использовании при обосновании состава твердеющей закладочной смеси закономерностей формирования вяжущей активности хвостов при обжиге и механоактивации и учете мощности залежей и стадийности отработки камер.

2. Закономерности динамики набора прочности закладочных смесей на основе обожженных и исходных хвостов обогащения пляжной и прудковой зон в

различных пропорциях с добавлением цемента и без него с установлением на основе термогравиметрического анализа оптимальной температуры обжига хвостов для активизации вяжущих свойств – 750°C.

3. Методика обоснования технологии подготовки лежалых хвостов обогащения руд к использованию для приготовления твердеющей закладочной смеси, отличающаяся применением результатов термогравиметрического анализа техногенного сырья при обжиге и последующей механоактивации.

**Достоверность научных положений, выводов и результатов** обеспечивается обобщением предшествующих научных достижений, достаточным объемом лабораторных экспериментов по вовлечению в эксплуатацию хвостохранилища №2 Тырнаузского комбината, достоверной сходимостью результатов исследований, полученных различными методами с использованием современного оборудования и апробированных методик.

**Практическая значимость работы.** Использование выводов, рекомендаций и методических положений диссертации в проектных решениях по обоснованию параметров технологий добычи и комплексной переработки хвостов Тырнаузского горно-обогатительного комбината эффективной экологически безопасной доработки запасов Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд. Результаты исследований могут быть использованы действующими горнорудными предприятиями, научно-исследовательскими и проектными организациями.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на научных семинарах, научно-технических советах, международных конференциях: XI международной конференции «Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр», г. Магнитогорск, 2021; III Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие», г. Челябинск, 2022; XII международной конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых», г. Магнитогорск, 2023; IV Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие», г. Челябинск, 2024.

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в 8 научных работах, в том числе 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Российской Федерации.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 166 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 17 таблиц, список литературы из 100 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

*Первая глава* посвящена обобщению опыта вовлечения в эксплуатацию отходов обогащения многокомпонентных руд и перспективных технологических решений. Проведен анализ условий складирования, хранения, объемов накопления хвостов обогащения многокомпонентных руд, а также произведена оценка общей гор-

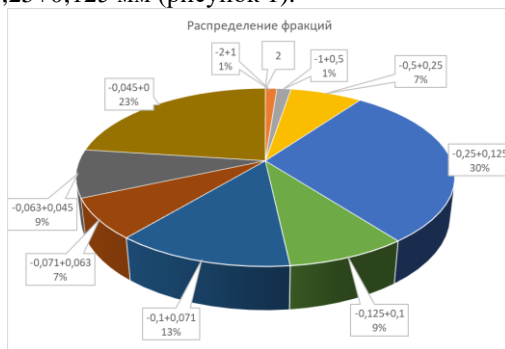
но-геологической характеристики техногенных образований из хвостов обогащения Тырныаузского обогатительного комбината.

Анализ работ отечественных известных ученых и практика безотходного производства свидетельствует о том, что вторичное минеральное сырье может быть эффективно вовлечено в переработку. При этом затраты на производство могут быть даже ниже по сравнению с отработкой природных месторождений твердых полезных ископаемых. Исследованию свойств и разработке технологий добычи и переработки отходов горно-перерабатывающего комплекса посвящены работы академиков РАН К.Н. Трубецкого, В.А. Чантурия, члена-корреспондента РАН Д.Р. Каплунова, профессоров В.Ж. Аренса, В.К. Бубнова, А.М. Гальперина, В.З. Козина, Ю.П. Морозова, М.В. Рьльниковой, Б.Д. Халезова, ИВ. Шадруновой и др. Анализ условий образования техногенных массивов и опыта их разработки выявил, что хвосты обогащения являются весьма неоднородным по вещественному составу сырьем, что обуславливает сложность их переработки и препятствует широкому вовлечению в промышленную эксплуатацию. Оценка современного состояния образования, накопления, утилизации, размещения отходов производства свидетельствует о неудовлетворительном в целом решении проблемы обращения с отходами производства в нашей стране. Управление хвостохранилищами требует более тщательного подхода к их формированию и комплексных решений по вовлечению в эксплуатацию техногенного сырья, в которых все аспекты, связанные с перемещением материалов, управлением твердыми, воздушными и водными ресурсами при повторной переработке такого сырья, принимаются во внимание с учетом формирования экологически сбалансированных геотехнологий. На основании этого определены цель, задачи и идея диссертационного исследования.

*Во второй главе* дано развитие научно-методических и организационно-правовых основ геотехнологий эксплуатации техногенных образований отходов добычи и переработки многокомпонентных руд в условиях горных территорий. С учетом специфики вещественного состава, структуры и состояния отходов добычи и переработки многокомпонентных руд предложена сводная промышленная классификация техногенных минеральных образований из отходов обогащения молибденовых и вольфрамовых руд. На базе оценки условий складирования техногенного сырья в гористой местности произведена систематизация природных и техногенных экологических рисков хранения отходов переработки многокомпонентных руд в высокогорных горнопромышленных регионах. Систематизированы условия и факторы, препятствующие эффективной и безопасной эксплуатации лежалых хвостов, складированных в хвостохранилищах Тырныаузской обогатительной фабрики, в числе которых топографические условия расположения техногенных образований; сложная гидрогеохимия региона и необходимость управления гидродинамическими процессами в ходе эксплуатации; отсутствие апробированных технических решений по извлечению тонкодисперсного обводненного техногенного сырья в охранной зоне гористой местности; сейсмоактивность региона складирования техногенного сырья; отсутствие достоверных исходных данных по сформированной структуре массива хвостохранилища и установленных закономерностей распределения содер-

жания ценных компонентов и свойств техногенного сырья в сформированных техногенных массивах; необходимость разработки решений по утилизации вторичных отходов после переработки ранее складированных хвостов обогащения вольфрамомолибденовых руд, особенно содержащих высоко токсичные элементы; целесообразность технологического согласования мощностей и объемов переработки хвостов с объемами переработки добываемых руд после возобновления работы Эльбрусского ГОКа.

Третья глава содержит описание результатов исследования процессов и обоснование параметров технологий рециклинга и вторичного использования техногенного сырья Тырныаузской обогатительной фабрики. Анализ условий складирования техногенного сырья и текущего состояния складированных хвостов обогащения позволил определить, что для дальнейшего исследования наиболее предпочтительны хвосты обогащения, складированные в хранилище №2. Исследование проб хвостов, отобранных из прудковой и пляжной зон техногенного образования, проводилось для оценки перспектив разработки хвостохранилища №2 с целью изучения возможности доизвлечения ценных компонентов из складированного техногенного сырья. Однако в результате определено, что производить доизвлечение не имеет смысла. Кроме того, результаты исследования показали на преобладание в лежалых хвостах окислов кремния, кальция, алюминия и железа, что указывает на возможность получения при обжиге гидроизоляционных материалов, использования лежалых хвостов в производстве керамической плитки, а также в закладке выработанного пространства подземных камер при доработке запасов Тырныаузского месторождения. Исследование гранулометрического состава лежалых хвостов показало, что они представлены преимущественно тонко-мелкозернистой фракцией – 30 % фракции класса  $-0,25+0,125$  мм (рисунок 1).



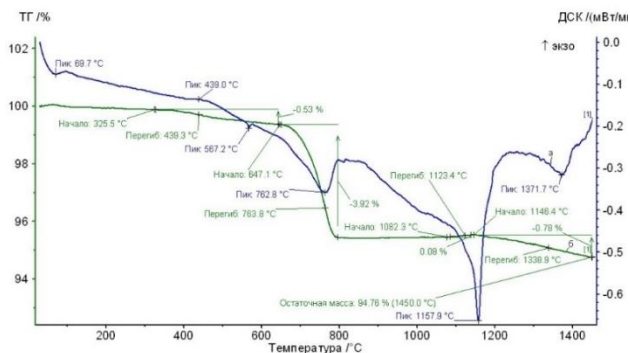
**Рисунок 1** - Диаграмма распределения классов крупности хвостов обогащения из хранилища №2

Более 90 % техногенного сырья имеют крупность  $-0,45$  мм, что указывает на возможность использования лежалых хвостов обогащения в закладке выработанного пространства без дополнительной дезинтеграции, что позволит снизить энергоемкость закладки и себестоимость подземной добычи вольфрамомолибденовых руд на Эльбрусском ГОКе.



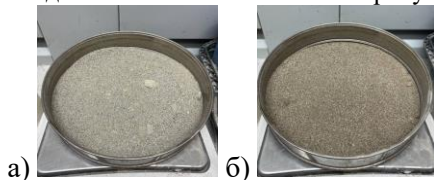
Магнитный анализ хвостов обогащения показал, что состав магнитной фракции в хвостах не более 10 %. Это свидетельствует о том, что не имеет смысла предварительно подготавливать техногенное сырье методом магнитной сепарации для приготовления закладочной смеси.

Для исследования возможности формирования вяжущих свойств лежалых хвостов при обжиге и оценки температуры, при которой хвосты обогащения меняют свою массу, был проведен термогравиметрический анализ проб хвостов, который показал, что при обжиге хвостов при температуре 750°C происходит наиболее интенсивная потеря массы вещества, что свидетельствует о преобразовании именно при этой температуре минеральных форм и возможности получения собственной вяжущей активности хвостов после обжига при такой температуре (рисунок 2). Это было в последующем подтверждено испытаниями физико-механических характеристик закладочных смесей на основе использования обожженных хвостов обогащения.



**Рисунок 2** - Кривые синхронного термического анализа проб: а – кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК-кривая); б – термогравиметрическая кривая (ТГ-кривая)

Поэтому для дальнейших исследований, направленных на определение вяжущей активности лежалых хвостов, для обжига была принята именно эта температура. Внешний вид хвостов до и после обжига показан на рисунке 3.



**Рисунок 3** - Внешний вид хвостов: а – до обжига, б – после обжига при температуре 750°C

В результате исследования составов на основе отходов, отобранных из пляжной и прудковой зон, доказано, что в пляжной зоне в основном сосредото-

чены инертные пески, которые не содержат минеральных форм, способных проявлять после обжига собственную вяжущую активность. Однако обжиг хвостов из прудковой зоны показал проявление собственной вяжущей активности, что позволит снизить расход цемента при изготовлении твердеющей закладочной смеси.

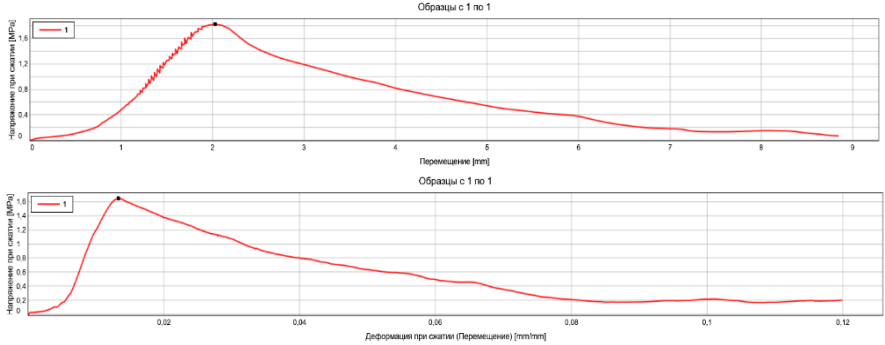
Результаты испытаний образцов закладочной смеси (таблица 1), приготовленных на основе лежалых хвостов обогащения Тырнауэвской обогатительной фабрики, отобранных из пляжной и прудковой зон, а именно на основе исходных и обожжённых проб хвостов с добавлением различного расхода цемента и воды, в динамике набора прочности свидетельствуют о возможности получения заданных характеристик закладочного массива в требуемые сроки его обнажения при различной мощности дорабатываемых рудных тел и принятых в связи с этим вариантов систем разработки.

**Таблица 1** - Результаты испытаний составов закладочной смеси на основе лежалых хвостов обогащения и динамика набора прочности

№ п/п	Состав закладочной смеси				Прочность на одноосное сжатие, МПа, при длительности твердения, сут		
	Расход, кг/м <sup>3</sup>				14	28	90
	Цемент	Исходные хвосты	Обожжённые хвосты	Вода			
<b>Из пляжной зоны</b>							
1	200	1620	—	455	0,6	1,4	3,8
2	120	1700	—	455	0,2	1,0	2,2
3	200	810	810	455	0,8	1,8	4,0
4	120	850	850	455	0,4	1,2	2,4
5	—	1820	—	455	—	—	—
6	—	910	910	455	—	—	0,2
7	—	—	1820	455	—	0,22	0,3
<b>Из прудковой зоны</b>							
8	200	1620	—	455	1,6	2,6	4,8
9	120	1700	—	455	1,0	1,4	2,4
10	200	810	810	455	1,8	3,4	5,4
11	120	850	850	455	1,4	—	3,2
12	—	1820	—	455	—	—	—
13	—	910	910	455	0,4	0,6	1,2
14	—	—	1820	455	0,8	1,3	1,6

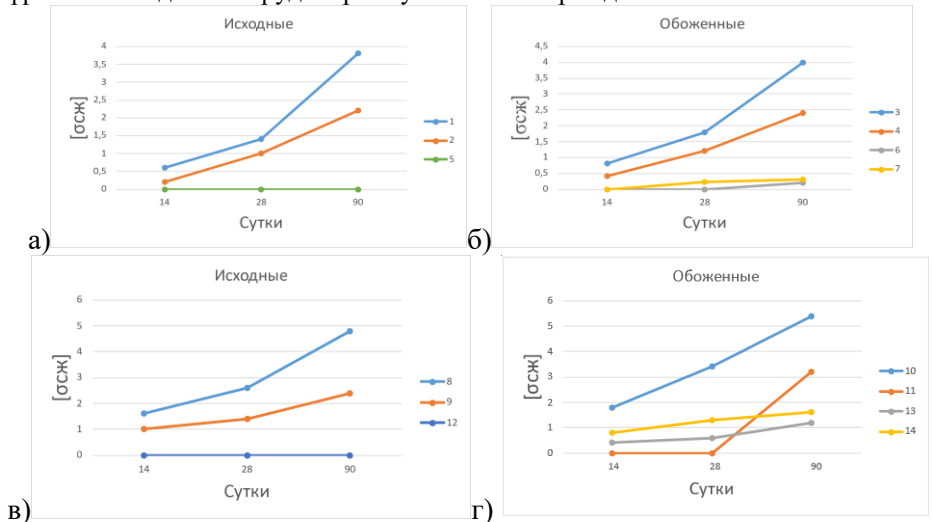
В ходе испытания образцов на одноосное сжатие под прессом с контролем деформационных характеристик, расчетом предела прочности на сжатие, модуля упругости на ветви нагружения, модуля спада на разгрузочной ветви после достижения образцов предела прочности были построены кривые нагружения образцов закладочного массива (рисунок 4). Они позволили определить модуль деформации и модуль спада для составов закладочных смесей в соответствии с таблицей 1, используемые далее при моделировании напряженно-

деформируемого состояния закладочного массива на различных стадиях развития горных работ.



**Рисунок 4** - Пример кривых нагружения образцов твердеющего закладочного массива, используемых для оценки модуля деформации и модуля спада на разгрузочной ветке

Представленные на рисунке 5 закономерности динамики набора прочности образцов закладочной смеси, приготовленных на основе лежалых хвостов обогащения из хранилища №2 Тырнаузской обогатительной фабрики в исходном состоянии и после обжига при температуре 750 °С, свидетельствуют о возможности приготовления на проектируемом закладочном комплексе смесей, обеспечивающих экономичную и безопасную доработку оставленных запасов вольфрам-молибденовых руд Тырнаузского месторождения.

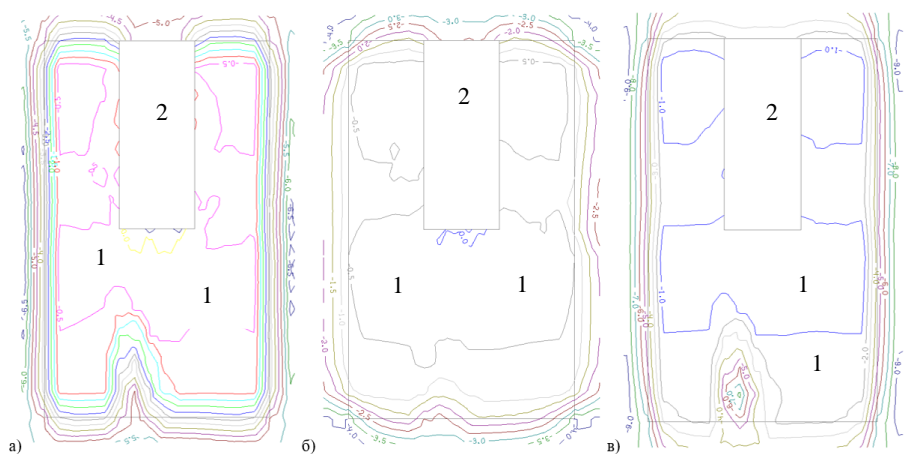


**Рисунок 5** - Закономерности динамики набора прочности исходных и обожженных образцов: а, б – в пляжной зоне, в, г – в прудковой зоне, соответственно

Для оценки необходимых характеристик закладочного массива на различных стадиях отработки запасов было проведено моделирование геомеханического состояния массива с учетом стадийности отработки запасов. Оценка напряженно-деформированного состояния твердеющей закладки при отработке запасов камерной системой в восходящем порядке проводилась с использованием метода конечных элементов в объемной постановке по схеме последовательных циклов с использованием программного комплекса FEM.

В ходе моделирования рассматривалась отработка запасов двух этажей: сначала обрабатывались камеры нижнего этажа, потом проводилась их заполнение твердеющей смесью, следующим этапом обрабатывался междукамерный целик (МКЦ) с последующим заполнением образовавшейся пустоты закладочной смесью. В дальнейшем моделировалась отработка вышележащего этажа в том же порядке. Результаты расчетов выводились на момент окончания отработки МКЦ, что позволяло оценить величины напряжений на обнажениях закладки. В ходе моделирования предполагалось, что недозаклад камер отсутствует, что предопределяло завышенные величины вертикальных напряжений в закладке.

Пример результатов моделирования одного из вариантов системы разработки показан на рисунке 6.



**Рисунок 6** - Распределение изолиний напряжений  $\sigma_x$  (а),  $\sigma_y$  (б),  $\sigma_z$  (в), действующих в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 3 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Все компоненты полного тензора напряжений, полученные в результате моделирования напряженно-деформированного состояния твердеющего закладочного массива при отработке запасов камерной системой в восходящем порядке для вариантов №№ 1–4, с учетом их максимального значения в условиях

действия в природном поле исключительно гравитационных сил приведены в таблице 2.

**Таблица 2** - Напряжения на обнажении твердеющего закладочного массива в условиях действия в природном поле исключительно гравитационных сил на момент отработки МКЦ между заложёнными камерами (МПа)

Вариант	После отработки нижнего этажа			После отработки верхнего этажа		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
1	4-5	1,5-2	2-3	5-6	1-2,5	2-6
2	2-4	1,5-2	1-2	2-3	1,5-2	1-2
3	1,5-2	1,5-2	1-1,5	1,5-2	1-2	1-1,5
4	1,5-2	1,5-2	1,0-1,5	1,5-2	1,5-2	1-1,5

По результатам выполненных исследований предложена концепция доработки Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд, которая базируется на реализации идеи об использовании лежалых хвостов обогащения, складированных в хвостохранилище № 2 одноименной фабрики, для формирования закладочной смеси, выбор составов которой базируется на использовании установленных закономерностей формирования собственной вяжущей активности хвостов при обжиге.

Деформационные характеристики закладочного массива не определяют нормативную прочность закладочной смеси, так как запасы расположены таким образом, что над ними нет никаких охраняемых объектов. В соответствии с этим, расчет нормативной прочности закладочной смеси произведен по формулам:

$$[\sigma_{\text{сж}}^{\text{бок}}] = \frac{\sigma_{\text{max}} * K_3 * K_{\text{нер}}}{K_{\phi} * K_{\text{дин}}} \quad (1)$$

$$[\sigma_{\text{сж}}^{\text{верх}}] = \frac{P}{S} \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = 0,4 [\sigma_{\text{сж}}] + 1 \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{рас}} = 0,2 [\sigma_{\text{сж}}] + 0,1 \quad (4)$$

где  $\sigma_{\text{max}}$  – максимальное нормальное напряжение на обнажении, МПа;  $K_3$  – коэффициент запаса прочности, принят 1.5;  $K_{\text{нер}}$  – коэффициент неравномерности распределения напряжений, принят 1.15;  $K_{\text{дин}}$  – коэффициент, учитывающий воздействие взрыва, принят 1.15;  $K_{\phi}$  – коэффициент формы =  $0.6 + 0.4 * a / h_y$ ;  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{бок}}$  – нормативная прочность закладочной смеси по фактору вертикальных обнажений при отработке смежных камер, МПа;  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{верх}}$  – нормативная прочность верхнего слоя закладочного массива, мощностью 0,5 м, по фактору перемещения по нему самоходного оборудования, МПа;  $P$  – сила тяжести перемещаемого оборудования;  $S$  – площадь поперечного сечения опор самоходного оборудования, см<sup>2</sup>;  $\sigma_{\text{изг}}$  – предел прочности закладочного массива на изгиб, МПа;  $\sigma_{\text{рас}}$  – предел прочности закладочного массива на растяжение, МПа.

Для расчета нормативной прочности закладочной смеси в камерах I и II очереди был рассчитан коэффициент формы камер I и II очереди по четырем проектным вариантам обработки запасов (таблица 3).

**Таблица 3 - Нормативная прочность закладочного массива по вариантам систем разработки в камерах**

№ варианта	I очередь	II очередь
1	4,5	2,5
2	3,5	3,0
3	2,8	3,5
4	2,5	1

Таким образом, установлено, что результаты испытаний прочности и деформационных характеристик образцов твердеющего закладочного массива позволяют утверждать, что использование лежалых хвостов обогащения Тырныаузской обогатительной фабрики в закладке выработанного пространства позволит обеспечить закладочный комплекс экономичным закладочным материалом с упрощением технологической схемы закладки выработанного пространства на подземном руднике.

В четвертой главе выполнена разработка технико-технологических и организационных мер по вовлечению в эксплуатацию хвостохранилищ Тырныаузского комбината и оценка их экономической эффективности. На основании анализа проекта на доработку запасов Тырныаузского месторождения и полученных результатов исследования лежалых хвостов обогащения одноименной обогатительной фабрики предложена технологическая схема закладки и обоснование состава закладочной смеси для доработки запасов Тырныаузского месторождения.

Согласно разработанным рекомендациям, подбор составов твердеющей закладочной смеси следует производить дифференцированно в зависимости от мощности обрабатываемых залежей и стадийности извлечения камер с учетом установленной динамики набора прочности закладочной смесью на основе исходных и обожженных хвостов обогащения прудковой зоны с добавлением при необходимости цемента в установленных пропорциях.

Оцененный общий объем формируемых пустот при доработке запасов, предусмотренных первой стадией доработки Тырныаузского месторождения, составляет 9,1 млн м<sup>3</sup>. Для заполнения этого объема пустот, по выполненной оценке, для приготовления закладочных смесей требуемой нормативной прочности потребуется 7,6 млн м<sup>3</sup> лежалых хвостов обогащения, складированных в хвостохранилище №2. Из них требуется 1,5 млн м<sup>3</sup> хвостов, накопленных в пляжной зоне, и 5,7 млн м<sup>3</sup> из прудковой зоны, что вполне обеспечено запасами хвостохранилища №2.

Рост совокупного дохода при освоении месторождения от реализации предложенных технико-технологических решений оценен по формуле:

$$\Delta_{\text{эф}} = K_{\text{уд}} * Q_{\text{р1}} + C_{\text{це}} * \rho_{\text{це}} * V_{\text{закл}} + c_{\text{ткм}} * \Sigma \Delta L * V_{\text{хв}} * \gamma_{\text{хв}} - K_{\text{уд1}} * \beta * V_{\text{хв}} * \gamma_{\text{хв}} - C_{\text{эл}} * N * t * T \quad (5)$$

где  $K_{\text{уд}}$  – удельные капитальные затраты на строительство закладочного комплекса, руб./т;  $Q_{\text{р1}}$  – суммарный объем добычи руды для I стадии отработки запасов месторождения, т;  $C_{\text{це}}$  – стоимость 1 кг цемента в Кабардино-Балкарской Республике, руб.;  $\rho_{\text{це}}$  – плотность цемента на приготовление закладочной смеси, согласно проектным решениям принята 1700 кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{закл}}$  – объем закладочной смеси для заполнения всех сформированных на I стадии отработки запасов пустот, по расчетам – 9,1 млн м<sup>3</sup>;  $c_{\text{ткм}}$  – себестоимость транспортирования хвостов их хранилища №2 на закладочный комплекс, руб./т\*км;  $\Sigma \Delta L$  – разница отметок транспортирования хвостов к закладочному комплексу на верхнюю отметку по проектному решению и на отметку размещения передвижного мобильного закладочного комплекса при отработке текущего горизонта, км;  $V_{\text{хв}}$  – объем хвостов, предусматриваемый для транспортирования их хвостохранилища №2 на передвижной закладочный комплекс, согласно расчетам – 7,6 млн м<sup>3</sup>;  $\gamma_{\text{хв}}$  – плотность хвостов обогащения, 2,2 т/м<sup>3</sup>;  $K_{\text{уд1}}$  – удельные затраты на строительство комплекса по обжигу хвостов вблизи хвостохранилища №2, здание под обжиговую печь уже имеется, руб./м<sup>3</sup>;  $\beta$  – доля хвостов, которые необходимо подвести обжигу при температуре 750 °С, принята согласно исследования 0,5;  $C_{\text{эл}}$  – стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии в районе месторождения, руб./ кВт\*ч;  $N$  – установленная мощность обжиговой печи, кВт;  $t$  – время работы обжиговой печи в сутки, 20 час.;  $T$  – количество дней работы обжиговой печи в течение года, принимаем 350 дней.

В связи с тем, что в настоящее время отсутствует точное обоснование объема запасов первоочередной отработки, в расчетах принято равномерное распределение объемов по горизонтам.

В целом доказано, что ускорение и обеспечение эффективности доработки Тырнаузского месторождения вольфрама-молибденовых руд с решением экологических проблем природоохранного высокогорного региона достигается путем применения для твердеющей закладки камер лежалых хвостов обогащения Тырнаузской фабрики на основе районирования массива хвостохранилища по вещественному составу с активацией вяжущей активности хвостов, извлеченных из прудковой зоны, путем обжига при температуре 750°С и механоактивации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершённой научно-квалификационной работой, обоснованы технико-технологические решения по использованию лежалых хвостов обогащения Тырнаузской фабрики для повышения эффективности и обеспечения экологической и промышленной безопасности доработки одноименного вольфрамо-молибденового месторождения, что имеет важное значение для развития металлургического, машиностроительного и оборонительного комплекса России.

Основные выводы и результаты, полученные лично автором диссертации:

1. Доказано, что генетический тип Тырнаузского месторождения вольфрамомолибденовых руд, характеризующийся установленными особенностями вещественного состава руд и вмещающих пород, минеральной формой главных рудных (молибден и вольфрам) и попутных (благородные металлы, висмут, теллур, медь и другие) с различным содержанием нерудных компонентов определяет выбор перспективной технологии и эффективность процессов утилизации хвостов, технологический тип и состав техногенных минеральных образований, предложена их классификация применительно к отходам обогащения молибденовых и вольфрамовых руд различных генетических типов.

2. Показано, что для обеспечения эффективного использования техногенного минерального сырья хвостохранилищ, расположенных в сложных горно-геологических условиях, необходимо обоснование технико-технологических решений по выемке и транспортировке техногенного сырья с обеспечением его использования для эффективной, промышленной и экологически безопасной доработки месторождения.

3. Доказана необходимость утилизации лежалых хвостов обогащения руд в закладке выработанного пространства. Это обусловлено тем, что отмечены единичные случаи с «ураганными» содержаниями молибдена, вольфрама и олова с превышением ПДК примерно в 2 раза по меди и цинку. Эти пробы были отобраны в участках резкого перегиба рельефа, где мог накапливаться переносимый ветром материал хвостохранилища. Материал песков с почвенно-растительным слоем из хвостохранилища №2, помимо значительного превышения ПДК для вольфрама, молибдена и олова, характеризуется устойчивым превышением ПДК по цинку в 2 раза, по мышьяку – в 7,6 раз, в единичных пробах по меди – в 1,6 раз. Дернина из слоя рекультивации хвостохранилища №2 характеризуется устойчивым превышением ПДК по цинку в 2 раза, по мышьяку – в 10 раз, в единичных пробах по меди в 1,4 раза, по свинцу в 7,3 раза.

4. Показано, что подбор составов твердеющей закладочной смеси следует производить дифференцированно в зависимости от мощности отрабатываемых залежей и стадийности извлечения камер с учетом установленной динамики набора прочности закладочной смесью на основе исходных и обожженных хвостов обогащения прудковой зоны с добавлением при необходимости цемента в установленных пропорциях.

5. Впервые подтверждено, что при обработке рудных залежей мощностью до 20м заполнение камер I стадии следует проводить закладочными смесями на основе хвостов обогащения, извлеченных из прудковой зоны в равных пропорциях обожженных и исходных, с добавлением цемента 120-200 кг/м<sup>3</sup> смеси в зависимости от длины камеры, при большей мощности залежей для заполнения выработанного пространства камеры I стадии следует применять безцементные смеси на основе обожженных хвостов обогащения, извлеченных из прудковой зоны.

6. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что для заполнения камер II стадии отработки при мощности рудных залежей до 15 м следует производить закладочной смесью на основе обожженных и исходных хвостов



обогащения прудковой зоны в равных пропорциях с добавлением 120 кг цемента; при мощности залегания 15-20 м рекомендуется безцементная закладка на основе обожжённый хвостов прудковой зоны, а при мощности залегания свыше 20 м для закладки следует использовать хвосты пляжной зоны с укреплением верхнего слоя в камере высотой 1 м составом с добавлением цемента 100 кг/м<sup>3</sup> смеси.

7. В результате испытаний прочности и деформационных характеристик образцов твердеющего закладочного массива установлено, что использование лежалых хвостов обогащения Тырнаузской обогатительной фабрики в закладке выработанного пространства позволит обеспечить закладочный комплекс экономичным закладочным материалом с упрощением технологической схемы закладки выработанного пространства на подземном руднике

8. Доказано, что ускорение и обеспечение эффективности доработки Тырнаузского месторождения вольфрама-молибденовых руд с решением экологических проблем природоохранного высокогорного региона достигается путём применения для твердеющей закладки камер лежалых хвостов обогащения Тырнаузской фабрики на основе районирования массива хвостохранилища по вещественному составу с активацией вяжущей активности хвостов, извлеченных из прудковой зоны, путем обжига при температуре 750°C и механоактивации.

9. В результате оценки эффективности технико-технологических решений по использованию хвостов обогащения в закладке выработанного пространства установлено, что рост совокупного дохода при освоении месторождения от реализации предложенных технико-технологических решений составит 618 183,4 млн руб.

### **Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора**

*В изданиях, рекомендуемых ВАК России:*

1. Джаппуев Р.К., Соглаев А.В., Залевская К.Н., Радченко Д.Н. Извлечение золота из техногенного сырья: практика АО «ЮГК» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 4. Тула. Издательство ТулГУ. – 2020. – С. 340–350.

2. Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Джаппуев Р.К. Эколого-экономическая оценка техногенных минеральных образований для обеспечения устойчивого развития горнопромышленной индустрии // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021, Вып. №1. – Тула: Издательство ТулГУ. – С:303-315.

3. Рыльникова М.В., Швабенланд Е.Е., Цупкина М.В., Джаппуев Р.К. Нормативно-правовые подходы к вовлечению в эксплуатацию техногенных минеральных образований // Рациональное освоение недр. – 2021, Вып. №1 (57). – М.: Научно-информационный издательский центр «Недра-XXI». – С: 24–29.

4. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.В. Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию отходов переработки руд

Тырныаузского месторождения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 86–96.

5. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.А., Габараев О.З. Концепция устойчивого развития горнопромышленного региона Кабардино-Балкарии на основе использования хвостов обогащения Тырныаузской фабрики в закладке выработанного пространства // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16. № 1 (59). – С. 143-158.

*В прочих изданиях:*

6. Радченко Д. Н., Цупкина М. В., Джаппуев Р.К. Результаты эколого-экономической оценки перспективности эксплуатации складированных в Пластовском районе отходов переработки золотосодержащих руд // материалы II Всероссийской научно-практической конференции «ЗОЛОТО. ПОЛИМЕТАЛЛЫ. XXI ВЕК» — М.: ИПКОН РАН. – 2020. – С. 65–66.

7. Цупкина М.В., Джаппуев Р.К. Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию лежалых отходов переработки многокомпонентных руд Тырныаузского месторождения // Материалы XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр». – 2021. – С. 168–169.

8. Джаппуев Р.К., Цупкина М.В., Татарников В.И., Зубков П.О. Исследование технологий закладки выработанного пространства с использованием лежалых хвостов обогащения вольфрамомолибденовых руд // Научные труды IV Международной научно-технической конференции, г. Челябинск, 27-30 марта 2024 г. – М: ИПКОН РАН, 2024. – С. 71–75.