

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Северо-Кавказский горно-металлургический
институт (государственный технологический университет)**

На правах рукописи

ДЖАШУЕВ РУСЛАН КАМАЛОВИЧ

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

Специальность

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
профессор, доктор технических наук
М.В. Рыльникова

Владикавказ 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ВОВЛЕЧЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ.....	13
1.1 Анализ условий складирования, хранения, объемов накопления хвостов обогащения многокомпонентных руд	13
1.2 Общая горно-геологическая характеристика техногенных образований из хвостов обогащения Тырнаузского обогатительного комбината.....	32
1.3 Перспективные технологические решения по вовлечению в эксплуатацию лежалых хвостов обогащения многокомпонентных руд.....	38
1.4 Факторы, определяющие условия вовлечения в эффективную и безопасную эксплуатацию техногенных образований из отходов добычи и переработки многокомпонентных руд.....	47
1.5 Цель, задачи и методы исследования	54
2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО- ПРАВОВЫХ ОСНОВ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	58
2.1. Специфика вещественного состава, структуры и состояния отходов добычи и переработки многокомпонентных руд, складированных в хвостохранилище	58
2.2. Систематизация природных и техногенных экологических рисков хранения отходов переработки многокомпонентных руд.....	67
2.3. Условия и факторы, препятствующие эффективной и безопасной эксплуатации техногенных образований.....	72
2.4. Совершенствование нормативно-правовой базы недропользования в части обращения с техногенными образованиями в сейсмически активной горной местности	79
Выводы по 2 главе.....	86
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЙ РЕЦИКЛИНГА И ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ТЫРНЫАУЗСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ	88
3.1. Изучение условий складирования, хранения, объемов накопления отходов в техногенных образованиях Тырнаузского района	88

3.2. Исследование вещественного состава и структуры лежалого в хвостохранилищах техногенного сырья.....	92
3.3. Исследование процессов извлечения ценных компонентов из лежалых хвостов обогащения Тырнаузского месторождения	100
3.4. Исследование технологий формирования вяжущей активности хвостов обогащения для использования в закладке выработанного пространства Эльбрусского подземного рудника	107
Выводы по 3 главе.....	139
4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ МЕР ПО ВОВЛЕЧЕНИЮ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ТЫРНАУЗСКОГО КОМБИНАТА И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	142
4.1. Разработка технологической схемы закладки и обоснование состава закладочной смеси для доработки запасов Тырнаузского месторождения	142
4.2. Оценка экономической эффективности и экологической безопасности технико-технологических решений	145
Выводы по 4 главе.....	149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	154

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в результате освоения месторождений полезных ископаемых на поверхности земли складывается более 8 млрд т твердых отходов. Горно-металлургические комбинаты и обогатительные фабрики ежегодно сбрасывают миллионы тонн отходов обогащения руд и углей, для складирования которых требуются специальные хранилища (хвостохранилища, шламонакопители, гидроотвалы и др.). В них размещено значительное количество различных видов твердых и жидких отходов, содержащих цветные, благородные, и редкие металлы. Динамика процесса накопления отходов горнопромышленного комплекса возрастающая, в связи с разработкой месторождений на всё более значительных глубинах, во многих случаях с закономерным понижением содержания ценных компонентов. Содержание ценных компонентов в техногенных образованиях нередко сопоставимо по качеству со вновь вовлекаемыми в разработку перспективными месторождениями, что подтверждает целесообразность рассмотрения хранилищ техногенного сырья как альтернативных источников минерально-сырьевых георесурсов. Особенно это относится к старым отвалам и хвостохранилищам, которые формировались во второй половине прошлого столетия, когда не уделялось должного внимания комплексному изучению минерального сырья, а кондиции добычи и переработки были значительно выше современных.

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 сырьё 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.

Формирование хвостохранилищ происходит в основном бессистемно, и установление закономерностей распределения ценных компонентов и структуры сформированных массивов является сложной и часто технически неразрешимой задачей. Хвостохранилища формируются без учета возможностей и целесообразности последующей эксплуатации в краткосрочной перспективе, так и в будущем. Сырьевая база, характеризуется низкими технологическими свойствами; низкой интенсивностью процессов выщелачивания; сложностью управления процессами фильтрации; отсутствием апробированных технологических решений, в том числе основанных на применении новых реагентов. В то же время, большинство действующих предприятий, сталкиваясь с проблемой дефицита минерального сырья, рассматривают его дополнительные источники, в том числе возможность вовлечения в разработку техногенных отходов обогатительного производства, которая становится возможной по мере развития технологии переработки отходов. Потенциальными источниками ценных компонентов из техногенного сырья являются текущие и лежалые хвосты обогащения.

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.

Несмотря на указанные трудности, перспективность использования техногенных месторождений 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) тяжёлыми 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 переработки техногенно-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 Тырнаузского комбината, представленных отходами обогащения многокомпонентных руд, с отнесением этих объектов к техногенным, и обоснование технологических параметров их полезного использования с обеспечением дополнительного извлечения ценных компонентов при гарантии безопасности ведения горных работ, несомненно представляют практический и научный интерес.

Возрождение добычи вольфрамо-молибденовых руд на Тырнаузском месторождении является стратегической задачей по обеспечению российской промышленности одними из ключевых металлов. Однако не менее важной

задачей является решение социальных проблем уникального региона Северного Кавказа. Организация высокотехнологичного производства, требующего высококвалифицированной рабочей силы, внесёт значительный вклад в социально-экономическое развитие Кабардино-Балкарской Республики, Ставропольского края и всей России, что подтверждает актуальность решения заявленной в диссертации задач.

Целью исследования является 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.

Для достижения установленной цели исследования были сформированы и впоследствии решены следующие **задачи**:

- 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

Для решения поставленных задач в качестве **объекта исследования** выбраны отходы переработки многокомпонентных руд Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината.

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

Методология и методы исследования. Достоверность выводов и рекомендаций, полученных в результате диссертационной работы, подтверждает применение комплекса методов исследования, включая 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, экономико-математический анализ и технико-экономические расчеты с обработкой результатов исследований методами математической статистики.

Основу теоретической и методической базы диссертации составили авторитетные мнения и экспертные заключения, отраженные в различных диссертационных работах, методических исследованиях, научных публикациях в отраслевых журналах, выступлениях на тематических конференциях и пр.

Информационно-эмпирическая база исследования была сформирована на основе данных месторождения вольфрамо-молибденовых руд, ранее разрабатываемого Тырнаузским горно-обогатительным комбинатом.

Положения, выносимые на защиту. Защите подлежат следующие результаты, полученные в рамках данного научного исследования:

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 обожжённых 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/м³ 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.

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 безцементная 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/м³ смеси.

Научная новизна диссертационного исследования:

1. Концепция доработки Тырнаузского месторождения вольфрамомолибденовых 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 механактивации 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°С.

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.

Личный вклад автора заключается в постановке целей и задач исследования; формулировании основной идеи достижения цели, в оценке факторов, определяющих параметры технологических процессов комплексного освоения техногенных образований Тырнаузского комбината, в обосновании последовательности и параметров вовлечения хвостохранилищ, в разработке технико-технологических и организационных решений по вовлечению в эксплуатацию хвостохранилищ Тырнаузского комбината и оценке их экономической эффективности и экологической безопасности.

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии научно-методических и организационных основ формирования эффективных и экологически сбалансированных решений по комплексному использованию и сохранению техногенного сырья для обеспечения эффективной доработки запасов Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд.

Практическая ценность 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.

Достоверность научных 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.

Степень достоверности и апробация результатов. 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.

Публикации. Результаты проведенных исследований 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, четырех глав, заключительных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы, насчитывающего 99 наименований. Работа изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц и 40 рисунков.

1. ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ВОВЛЕЧЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

1.1 Анализ условий складирования, хранения, объемов накопления хвостов обогащения многокомпонентных руд

Многолетняя и интенсивная разработка месторождений твердых полезных ископаемых породила скопление на земной поверхности значительного количества отходов добычи и переработки многокомпонентного сырья, которое требует изъятия значительного количества площадей под хвостохранилища, отвалы и иные хранилища и сопряжено с высоким негативным экологическим воздействием на окружающую среду. Накопление хвостов переработки металлических руд формирует глобальную проблему перерождения природных геологических ландшафтов, реальное решение которой заключается в безотходной утилизации сырья в ближайшей перспективе и формировании условий для его сохранности с целью эксплуатации в отдаленной перспективе [22].

Задача рационального и эффективного размещения отходов обогащения многокомпонентных руд, а также вовлечение их в эксплуатацию всегда была и остается весьма актуальной для горно-обогатительных предприятий с экономической и экологической позиций. Для предотвращения развития экстенсивного накопления отходов производства необходимо особое внимание уделять вопросам рационального складирования, хранения отходов с достоверной оценкой и учетом качества и объемов техногенного сырья, уложенного в различные отсеки хвостохранилища.

Несмотря на то, что хвосты рассматриваются как отходы даже после завершения первоначальной добычи, содержание полезного компонента в них руд способно обеспечить вторичные запасы мирового уровня как по основным запасам добываемых металлов, так и для металлов и/или ценных минералов, которые ранее не принимались во внимание или отбраковывались. В

результате повторной переработки хвостов предполагаемые отходы могут стать ценным ресурсом. Зачастую содержание в отходах обогащения ценных компонентов сопоставимо по качеству и конкурирует с вновь вводимыми в эксплуатацию разведанными месторождениями.

Стоки, представленные сливами флотации и сгустителей и фильтратами направляются в хвостохранилища, которые в горных условиях располагаются на берегах водных артерий [84]. Кроме того, горные территории часто располагаются в сейсмически активных зонах, где повышена вероятность схода селевых потоков.

На многих горных предприятиях есть хвостохранилища, которые представляют определенную ценность и важной задачей при извлечении компонентов является использование потерь, сформированных при добыче и комплексной переработке сырья. Так, хвосты мокрой магнитной сепарации являются мелкодисперсными отходами, за год на горно-обогатительных комбинатах России их накапливается более 150 млн тонн. При этом, на шламоохранилище Качканарского горно-обогатительного комбината уже скопилось более 900 млн т отходов основного производства — добычи и обогащения титаномагнетитовых руд. Они содержат большое количество ценных металлов, в том числе скандия, галлия, стронция, титана. Количество скандия в отходах превышает 100 000 т — это составляет более 60 % мировых запасов этого металла.

За рубежом вторичные минеральные ресурсы вовлекаются в производство в Канаде, Японии, Германии, Австралии, ЮАР, США, Великобритании. В Канаде на фабрике «Коупер Маунтин» разработана технология по переработке техногенных образований минерального сырья методом кучного выщелачивания. В Австралии на фабрике «Кадина» вовлекается в переработку медные отходы с содержанием 0,5–1,5% в исходном сырье. В Японии на фабрике «Хитачи» производится переработка техногенного сырья, накопленного за 5 лет работы фабрики, содержащих 0,4% меди, 0,4% цинка и 5,5% серы. Большое значение переработке

технологических потерь уделяется в ЮАР [12]. Незначительный объем использования ранее накопленных объемов горнодобывающих предприятий при добыче и переработке в Российской Федерации по сравнению с зарубежными странами, обусловлен значительными запасами природных месторождений и недостаточной проработкой законодательства о недропользовании в части использования потерь при добыче и комплексной переработке минерального сырья [23].

Техногенные месторождения, представленные хвостами обогащения, являются достаточно специфическими образованиями, отличающимися от других техногенных объектов вещественным составом, условиями накопления и хранения, набором остаточных реагентов и влиянием микроорганизмов определенных видов. Многие десятилетия учитывался только объем складированных отходов в хвостохранилищах и, зачастую, даже не фиксировалось содержание ценных компонентов в сырье, поступающем на складирование в хранилища, так и до настоящего времени не отслеживается динамика изменения физико-механических и технологических свойств лежалых отходов обогащения руд. Главной задачей здесь является экологически безопасное и экономически эффективное извлечение потенциальных запасов вторичных георесурсов. К сожалению, эксплуатация хвостохранилищ даже без вовлечения техногенного сырья в промышленную переработку, несет в себе значительные риски, такие как возможные прорывы или разрушения дамбы с последующим разрушением и загрязнением территорий.

Изучению техногенных месторождений в различных регионах России в настоящее время уделяется большое внимание. В последние годы выполнен большой объем самых разнообразных исследований техногенного сырья [54,72,100], особенностей стоимостной оценки [14,71,95]. Не установлены нормативные положения по оценке кондиций при вовлечении в эксплуатацию техногенных минеральных объектов, норматив списания потерь и учета

разубоживания, большое внимание уделяется изысканию технологий его переработки [81,83].

Вопросы теоретического обоснования комплексного использования минерального сырья, изучения условий формирования и размещения, технологии освоения техногенных месторождений рассмотрены в трудах В.Г. Зотеева, В.А. Наумова, В.А. Макарова, А.Б. Макарова, А.Г. Талалай, Б.Б. Зобнина, С.И. Мормиль.

В работах ученых [36,24,11,42,45,55] показано, что техногенное сырье является сложным объектом и требует изыскания новых технико-технологических решений и организационных мер по вовлечению его в эксплуатацию.

В работе [5] совершенно справедливо отмечено, что при комплексном освоении рудных месторождений и активной утилизации некондиционного сырья выбор технологических схем должен производиться с учетом всех специфических особенностей горно-геологических условий природных и техногенных месторождений, вещественного состава руд и образующихся отходов. Учитывая существенное влияние на выбор способа утилизации техногенного сырья его качественного состава, условий формирования, складирования и хранения отходов, направления технологий активной утилизации отходов разделены на 5 групп, определяющих возможности и перспективы разработки техногенных образований и использования техногенного сырья.

В группу I входят технологии складирования в выработанном пространстве карьеров и подземных рудников вмещающих пород и обезвоженных хвостов обогащения руд, не имеющих товарной ценности и рыночного спроса.

Геотехнологии II группы предусматривают создание в выработанном пространстве карьеров и подземных рудников техногенных месторождений с заданными технологическими характеристиками для их освоения в долгосрочной перспективе. При этом предполагается формирование

горнотехнических конструкций для складирования техногенного сырья с геомеханическим обоснованием параметров оснований, перегородок, дамб, откосов с заданными геометрическими параметрами, обеспечивающих эффективную эксплуатацию техногенного сырья в будущем.

Технологии III группы предусматривают формирование техногенных месторождений в выработанном пространстве карьеров и подземных выработках, а также на поверхности в специальных емкостях или геотубах, в техногенных объектах с заданными характеристиками для разработки техногенного сырья в краткосрочной перспективе. Они включают обезвоживание тонкодисперсного сырья, его окомкование, либо дробление и грохочение крупнокусковых фракций отходов с оптимизацией грансостава.

Технологии группы IV предусматривает разработку техногенных образований прошлых лет с формированием на их основе техногенных месторождений с заданными характеристиками вещественного состава, структуры, технологических свойств сырья для последующей его эффективной эксплуатации в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

Технологии группы V предусматривают разработку природно-техногенных запасов, не включенных в базовый проект отработки месторождения по условиям безопасности или ввиду некондиционности сырья.

В исследования основных технологических характеристик техногенного сырья автором [6] предложено классифицировать отходы горно-обогатительного производства по физико-механическим свойствам, влияющим на выбор технологий подготовки некондиционного сырья к последующей эксплуатации. Автор разделяет отходы обогащения на сцементированные, рыхлые и жидкие и рассматривает как их физические свойства: плотность (легкие, средние, тяжелые); пористость (рыхлые $n=48\%$, средние $n=40\%$, плотные $n=26\%$); крепость (мягкие, средние, крепкие); подвижность и консистенция (твердые, пластичные, текучие); влажность (сухие $G=0$, маловлажные $G=0,1-0,5$, сильновлажные $G=0,5-0,8$,

водонасыщенные $G=1$); механические: прочность (до 2,5 Мпа); реологические характеристики (ползучесть, пластичность); компрессионные свойства под нагрузкой: сжимаемые, несжимаемые; сопротивление сдвигу (устойчивые, неустойчивые) и гидравлические характеристики: водоустойчивость $K_p > 0,9$, среднеустойчивые $K_p = 0,6-0,8$, водонеустойчивые $K_p < 0,5$; водопроницаемость: сильноводопроницаемые, водоупорные, слабоводопроницаемые; влагоемкость: влагоемкие, средневлагоемкие, невлагоемкие. Изучение и контроль перечисленных свойств является, по мнению автора [6], исключительно важным условием обоснования и разработки способов подготовки техногенного сырья на всех стадиях проектирования и освоения техногенного образования. Подготовка сырья предусматривает улучшение технологических свойств путем изменения совокупности физико-механических свойств, вещественного состава и характеристик структуры. Изменение перечисленных свойств должно осуществляться совместным химическим, механическим и физическим воздействием на сырье и формируемый массив.

В работе [6] В.А. Ангелов предложил способ длительного хранения дисперсных отходов обогащения медно-колчеданных руд путем изоляции их в контейнерах из геотекстиля – в геотубах, поскольку складирование отходов обогащения в геотубы обеспечивает обезвоживание текущих хвостов обогащения до 1% влажности в течение первых 24 часов без использования аппаратных методов, что способствует изоляции техногенного сырья от внешних природных воздействий, сохранению его качества и однородности вещественного состава на длительную перспективу.

По времени накопления выделяются отходы текущие и прошлых лет (до многих десятков лет хранения). Такое разделение основано на представлении о том, что для старогодних (лежалых) отходов наименее достоверны показатели, отражающие качество отходов горного производства, где из-за совместного складирования различных по физико-механическим свойствам пород, их перемешивания с другими видами промышленных отходов, ввиду

использования для них единых емкостей, окисления и выщелачивания, вследствие длительных сроков хранения, свойства техногенного сырья невозможно прогнозировать без специальных исследований [93].

По степени уязвимости по отношению к опасным природно-техногенным процессам, авариям и стихийным бедствиям, катастрофам, характерным для горных районов (землетрясениям, оползням, селям и т. п.), хранилища отходов классифицированы на четыре группы. В работе [93] также рассматривается состояние изученности отходов с выделением 3-х подклассов, отражающих, соответственно, геологическую, технологическую и экологическую изученность объекта. Авторами [51,93] классифицированы типы хранилищ (наливные и намывные) по морфометрии – высоте отвалов относительно естественной поверхности, выделены: углубленные, низкие – до 15 м, средние – от 15 до 50 м, высокие - свыше 50 м, степени обводнённости.

Авторами [51] разработана и представлена классификация техногенно-минеральных образований с указанием формы паспортов и сводного кадастра с ранжированием по наиболее важным классификационным признакам. В работе дана оценка ресурсного потенциала основных и попутных компонентов в техногенных образованиях. Рассмотрены состояние и направления использования техногенно-минерального сырья, а также перспективные технологии его переработки.

В обзоре статей [8,25,38,39] прослеживается возможность использования гидроотвалов для складирования техногенного сырья. По существующей классификации гидроотвалы подразделяют в зависимости от рельефа основания на: а) овражно-балочные, создаваемые путём возведения насыпной или намывной дамбы, перегораживающей балку или долину; б) равнинные, расположенные на ровной или слабонаклонной местности, обвалование таких хранилищ жидкого сырья производится с четырёх сторон; в) овражно-равнинные – устраиваются на равнинах, пересеченных оврагами, которые перекрываются плотинами, а равнинная часть обваловывается; г) пойменные – располагаются в поймах рек с обвалованием с двух-трёх сторон;

д) косогорные – намываются на склонах (косогорах), ограждаемых обваловкой с трёх сторон; е) котлованные и котловинные, расположенные соответственно в выработанных пространствах карьеров и естественных впадинах в рельефе поверхности.

Таким образом, анализ показал, что способы подготовки техногенного сырья должны учитывать совокупность процессов и методов контролируемого изменения физико-механических свойств, вещественного состава и характеристик структуры складированных отходов. В зависимости от условий образования, залегания и хранения техногенных георесурсов в классификации, представленной в работах [37,80], определены перспективы применения вариантов комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии. Выделенные в классификации признаки определяют требования к технологиям добычи и комплексного использования техногенных георесурсов. На базе разработанной классификации определены условия и перспективы вовлечения техногенных георесурсов в эксплуатацию [37,80].

Проф. И.В. Шадруновой предложена классификация некондиционных медьсодержащих георесурсов, где они разделены на природные и техногенные [92]. Ею обоснованы низкотемпературные процессы выщелачивания некондиционных медьсодержащих георесурсов и убедительно показано, что наиболее перспективными процессами для вовлечения его в эксплуатацию являются физико-химические.

Очевидно, что освоение каждого вида техногенных отходов различного срока хранения должно предусматривать отдельные технологические решения, учитывающие свойства георесурсов в соответствии со спецификой их формирования, складирования и хранения [65], по этим факторам техногенное сырье разделено на:

- текущие – на выходе с обогатительной фабрики после завершения всех процессов обогащения;

- эксплуатационное, находящееся в действующем, постоянно пополняемом хвостохранилище под затоплением водой с изменяющимися, в зависимости от режима фабрики и природно-климатических условий, концентрациями элементов, характеристиками Eh и pH среды;

- консервируемое, размещаемое в хвостохранилище в соответствии с принятой технологией складирования отходов;

- лежалое, формируемое в течение определенного времени в законсервированном хвостохранилище из отходов, подвергшихся в ходе хранения процессам вторичного минералообразования с изменением структуры массива.

В целом классификации техногенных минеральных ресурсов позволяет выбрать технологию целенаправленного формирования из отходов переработки руд техногенных образований с заданными характеристиками.

Крупные хвостохранилища имеют высокую категорию (класс) опасности и ответственности сохранности самого сооружения, несмотря на соблюдение при проектировании всех норм безопасности. На таких хвостохранилищах не исключены весенние размывы дамб с аварийными сбросами стоков и хвостов, что приводит к потере сырья и значительному загрязнению окружающей среды [8].

Для определения влияния факторов риска, в качестве которых отмечены высота дамб, угол откоса дамб, плотность хвостов, температура тела дамбы, давление подземных вод на статическое состояние ограждающей дамбы, необходимо проведение дополнительных исследований в области влияния каждого фактора в каждом конкретном случае в зависимости от влияния выше указанных изменяемых значимых факторов. Необходима также оценка вещественного состава техногенного сырья в динамике его хранения, а также факторов экологического воздействия хранения отходов на состояние окружающей среды.

Технологии возведения горно-технических сооружений, технологическим схемам эксплуатации и проектирования намывных

накопителей техногенного сырья, требованиям к обеспечению их промышленной и экологической безопасности посвящены труды известных ученых: академика РАН К.Н. Трубецкого, члена-корреспондента РАН Д.Р. Каплунова, профессоров И.И. Айнбиндера, Е.Б. Близняка, Н.Г. Валиева, А.М. Гальперина, В.И. Голика, В.Т. Глазитского, А.Л. Гольдина, М.М. Гришина, Ю.Н. Дьячкова, В.Г. Зотеева, О.В. Зотеева, Д.М. Казикаева, В.Н. Калмыкова, Г.И. Кузнецова, Е.В. Кузьмина, Г.Г. Ломоносова, Ю.И. Разоренова, Л.Н. Рассказова, Н.Н. Розанова, М.В. Рыльниковой, И.Н. Савича и др.

Рассматривая условия эксплуатации техногенных месторождений в криолитозоне для повышения точности определения технологических параметров намыва пульпы хвостов обогащения руд А.С. Бадоев [9], определяет соотношения между максимальной плотностью и оптимальной влажностью хвостов в процессе консолидации твердой фракции при намыве хвостохранилища.

В. А. Ангелов [6] обосновывает способы подготовки техногенного сырья к эффективному использованию путем использования новых реагентов, режимов и конструктивных решений. В работе предложено применение при складировании сырья геотубов (контейнеры из геотекстиля) и реагентопоризаторов для сохранения, либо направленного изменения вещественного состава и характеристик техногенного сырья.

В работе [94] обоснованы конструкционные и технологические параметры намывных горнотехнических сооружений с учётом вещественного состава и структуры хвостовой пульпы обогащения железных руд, а также уклона намываемого надводного пляжа.

Намывные горнотехнические сооружения являются наиболее экономичными и широко распространёнными сооружениями для складирования отвальных хвостов обогащения железных руд в структуре горнотехнической системы. Однако, в настоящее время формирование и эксплуатация данных объектов требуют значительных затрат. Проведённый анализ работы современных горно-обогатительных комплексов показал, что

они вынуждены функционировать при постоянно изменяющихся характеристиках перерабатываемого сырья. Руды поступают с разных участков разного качества, отличаются по содержанию полезного компонента и обогатимости. В результате, после переработки таких руд получают отходы с различными технологическими характеристиками, которые после смешивания через единую гидротранспортную систему складываются в единое технологическое пространство намывного горнотехнического сооружения. Исследованию работы горнотехнических систем, хвостовых хозяйств, определению рациональных параметров намывных горнотехнических сооружений посвящены работы ведущих учёных Б.А. Волнина, О.Х. Добровинской, О.В. Зотеева, В.Г. Зотеева, Л.И. Кондратьева, В.А. Мелентьева, Т.И. Мельникова, И.Т. Мельникова, Н.В. Мельникова, Г.А. Нурка, С.И. Попова, В.В. Ржевского, И.В. Фёдорова, И.С. Фёдорова, В.В. Чижевского и др. Эффективность функционирования горнотехнической системы с намывным горнотехническим сооружением обеспечивается обоснованием рациональных параметров каждого входящего в её структуру элемента.

Автором [94] предложена методика определения устойчивых конструкционных параметров намывных горнотехнических систем, учитывающая наличие надводного пляжа, уклон которого зависит от плотности гидросмеси. В среднем увеличение высоты такого хвостохранилища при обеспечении его устойчивости составляет 2–3%, и это дает значительный экономический эффект.

В связи со снижением изначальных в период хранения колчеданного сырья содержания меди и цинка в 2-4 раза, благородных металлов и рассеянных элементов до 100 раз, автором [47] предложено формирование техногенных массивов в карьере, подземном руднике и на поверхности с заданными фильтрационными характеристиками, обеспечиваемыми предварительным низкотемпературным окомкованием текущих отходов с

использованием в качестве вяжущего медного шлака и извести в процентном соотношении по массе 90:5:5. 4.

Профессором Э.Х. Оганесяном [53] представлены результаты анализа аварий на хвостохранилищах, причем проанализированные данные по разрушениям говорят о серьезной опасности накопителей разного происхождения для людей, животного мира, растительной системы, инженерных сооружений и окружающей среды. Исследование влияния технологических параметров формирования намывного техногенного месторождения, обеспечивающего увеличение его объема, безопасности эксплуатации и снижение эксплуатационных затрат на его формирование основывается на распределении намывных отложений хвостов для получения равномерной дисперсности и последующей консолидации. Автор считает, что такое распределение хвостов обеспечивает повышение устойчивости и увеличение объема при формировании намывного техногенного сооружения. В своем исследовании Э.Х. Оганесян рассмотрел методы определения технологических параметров намыва хвостов; критерии и методы оптимизации технологических схем формирования накопителей отходов горнодобывающей промышленности, условия безопасности возведения накопителя, а также его эксплуатации и пришел к выводу, что стратегия прогноза устойчивости эксплуатации хвостохранилищ должна быть основана на оперативном управлении их технологическими параметрами при формировании техногенного месторождения. Автором предложены варианты намыва техногенного месторождения каскадного типа, учитывающие высоту намыва дамбы за один цикл и в целом за год, ширину фронта намыва, количество намываемых отложений при обязательном соблюдении условий промышленной и экологической безопасности.

Доктора наук А.В. Архипов и С.П. Решетняк [8] рассмотрели условия размещения техногенного сырья в акваториях, преимущественно в заливах озёр, морей. Так, в АО «Апатит» в начале эксплуатации хвостохранилища обогатительной апатит-нефелиновой фабрики АНОФ-2 самая богатая по

пятиоксида фосфора (P_2O_5) часть хвостов по проекту сливалась в сформированной отсек залива оз. Имандра, отгороженный от него дамбой. Материал хвостовых техногенных отложений, по мнению авторов, чаще всего представляет собой пески различных подклассов крупности от тонких до крупных (до 2 мм). Гранулированные шлаки и хвосты слюдяного производства также можно отнести к подклассу мелкого гравия. Конструкция гидроотвала, в зависимости от рельефа поверхности, будет определять: границы карьера при вскрытии техногенного месторождения, приконтурные потери техногенного сырья, условия размещения горного оборудования, направление развития добычных работ и производительность карьера.

Авторы [8] считают, что от конструкции и вида материала дамбы зависит: распределение полезного компонента по площади и глубине хвостохранилища, засорение материала хвостов, необходимость удаления дамбы в период отработки или сохранения для последующего использования, но в этом случае будут возрастать потери техногенного сырья у дамб и на контактах.

По приёмной способности гидроотвалы подразделяются на четыре класса: I — свыше 500 млн m^3 ; II — от 100 до 500 млн m^3 ; III — от 10 до 100 млн m^3 ; IV — до 10 млн m^3 . Этот признак определяет объём промышленных запасов для отработки, производительность системы и срок отработки запасов. По действующему СНиП 35-01-2003, класс гидроотвала в большей степени определяется безопасностью основных сооружений — ограждающих дамб и дамб обвалования. За критерий класса опасности принята максимальная высота дамбы и типы грунтов в её основании с учётом оценки последствий аварий сооружения, а не только вместимости хвостохранилища. По этому критерию к классу I отнесены гидроотвалы с дамбами, высотой свыше 50 м, к классу II — от 20 до 50 м, к классу III — от 10 до 20 м, к классу IV — 10 и менее метров. По высоте гидроотвалы подразделены на: а) на низкие — до 10 м; б) средние — 10–30 м; в) высокие — более 30 м. Высота отвалов оказывает существенное влияние на величину потерь техногенного сырья на контактах с

дневной поверхностью и дамбами, на производительность системы, содержание полезных компонентов в добываемой горной массе, размещение вскрывающих выработок и автодорог, величину загрязнения атмосферы пылью, размещение вторичных отходов.

По способу намыва хвостов различают следующие виды хвостохранилищ: а) от дамбы к прудку; б) от берега к откосу, т. е. к дамбе, когда она построена на всю высоту. От способа намыва также хвостов зависит распределение материала хвостов по крупности и по содержанию полезных компонентов в намываемых слоях, что, в свою очередь, будет оказывать влияние на размещение вскрывающих выработок, направление развития горных работ при эксплуатации техногенного сырья с целью поддержания заданного качества добываемой минеральной массы на длительный период добычи, а также на необходимость сооружения усреднительных складов. Чаще всего используется способ намыва хвостохранилища – от дамбы к прудку.

При отсутствии обязательных мер по подготовке подотвальных площадей, под хвостами оставались деревья, кустарники, слой почвы, в результате хвостохранилища часто засорены деревом, металлом, бетоном, зубьями экскаваторов и прочих элементов, что потребует определённых мер очистки при добыче техногенного сырья, особенно на контактах с первоначальной поверхностью и дамбами. Следовательно, конструкция и материал сооружения дамб должны по возможности предусматривать их отработку на стадии извлечения запасов техногенного сырья для снижения его потерь, которые возникают при оставлении охранного целика у дамбы, а днище и борта хвостохранилищ, размещаемых в естественных ёмкостях, должны тщательно подготавливаться перед заполнением для снижения потерь при оконтуривании хранилища, возможно, с предварительным сглаживанием и террасированием рельефа (поверхности) дна или бортов и, если это необходимо, с укреплением площадок дна.

Известны технические решения по складированию хвостов, отходов производства: складирование в хвостохранилища наливного, намывного типа или бесплотинные; складирование в виде кека фильтрации («сухое»); «полусухое» складирование (пастовое); складирование цианидсодержащих хвостов.

При складировании в хвостохранилища наливного или намывного типа хвостовая пульпа перекачивается по трубопроводам на специально подготовленную площадку, огражденную дамбой — хвостохранилище. В наливных хвостохранилищах ограждающая дамба возводится на всю проектную высоту еще в начале работ в зависимости от типа хвостохранилища: в намывных сначала сооружается первичная дамба и создается хвостохранилище по степенным намывом с параллельным поднятием дамбы; в бесплотинных дамбы не сооружаются [21]. Прорыв дамб или плотин, ограждающих хвостохранилище, может вызвать катастрофические последствия, как это имело место на Сорском молибденовом комбинате и Качканарском ГОКе [21]. Поэтому дамбы и плотины возводятся согласно требованиям правил безопасности, СНиПов, технологических регламентов и рекомендаций. Этот способ отличается наименьшей стоимостью складирования, но требует строительства дамбы, способной выдержать напор отходов.

Складирование в виде кека фильтрации («сухое») заключается в размещении на долговременное хранение отфильтрованных отходов на специально подготовленную площадку — «сухой» полигон и применяется для концентратов или при отсутствии места для размещения наливного или намывного хвостохранилища. Этот способ появился в последние годы как более радикальный способ обезвоживания хвостов. При такой технологии отвальные хвосты подвергаются обезвоживанию до 8–20 % влаги на пресс-фильтрах или фильтрации на конвейерах и затем транспортируются конвейерным или автомобильным транспортом на площадки складирования.

В мировой практике существует уже не одна фабрика, внедрившая систему складирования сухих хвостов. Среди преимуществ системы складирования сухих хвостов можно выделить следующие: надёжное решение проблемы водоснабжения фабрик, особенно в зимний период; склад хвостов занимает меньшую площадь по сравнению с обычным хвостохранилищем; не требуется сооружения различных дамб; высота штабелей сухих хвостов больше, чем традиционных дамб; возможно уплотнение штабелей бульдозерами, что повышает их устойчивость; отмечено, что штабели проще для рекультивации и повторного использования хвостов. К этому списку достоинств следует добавить наиболее благоприятную управляемость размещением и сохранением хвостов в качестве техногенного сырья, возможность отдельного хранения хвостов, их добычи в необходимое время и наиболее рационального размещения вторичных хвостов. Этот способ отличается относительно низкими капитальными затратами на строительство полигона, так как не требуется напорная дамба, но при нем эксплуатационные затраты достаточно большие.

«Полусухое» складирование (пастовое) основано на использовании для подготовки к складированию сгустителя специальной конструкции, в котором достигается высокая степень уплотнения хвостов до состояния пасты (65–70 % твердого). Технология сгущения хвостов до пастообразного и даже твёрдого состояния для компактного размещения в хвостохранилищах уже более 15 лет назад освоена различными обогатительными производствами за рубежом и в течение нескольких лет в России [10]. Сгущение хвостов производится на промплощадке обогатительной фабрики с помощью применения специальных реактивов (флокулянтов) на высокопроизводительных сгустителях. Хвостохранилище для размещения отходов имеет много общего со способом наливного или намывного складирования. Главным отличием может являться конструкция удерживающей дамбы. К перспективным способам складирования хвостов следует отнести сгущение пульпы в сгустителях высокой производительности.

Успешная работа высокопроизводительных сгустителей обычно обеспечивается использованием флокулянтов высокой молекулярной массы полиэлектролитного типа. Такие сгустители отличаются не только высокой производительностью, но и высокой плотностью сгущенного продукта — до 75 % твердого, очень чистым сливом, возможностью автоматического регулирования и контроля процесса сгущения. К новым технологиям складирования хвостов можно отнести применение пастовых сгустителей, которые обеспечивают отсутствие воды на поверхности хвостохранилища, снижение стоимости ограждающих дамб, снижение пылеобразования, быструю рекультивацию. Пастой или «высокоплотным сгущенным продуктом» является неосаждаемая суспензия с высоким содержанием твердого, отделяющая незначительное количество воды.

В работе [98] А.Б. Юном предложена технология складирования текущих хвостов с использованием реагентов, модифицирующих реологические характеристики хвостов в местах их складирования. В соответствии с этой технологией хвосты флотации в месте сброса обрабатываются реагентом и, в результате за счет стремительной агрегации, отделение водной фракции от твердых частиц, по мнению автора, происходит весьма интенсивно. Осадок хорошо обезвоживается, имеет гомогенную структуру, характеризуется как не расслаивающийся на крупные и мелкие частицы со временем, а по истечении 7–10 дней становится пригодным для транспортирования крупнотоннажной техникой.

Автором исследований [98] было доказано, что продукты Реомакс создают более крепкую структуру, чем структура, создаваемая простыми флокулянтами, толерантную к различного рода флуктуациям качества складированного материала. Помимо улучшения характеристик сжатия и обезвоживания, применение данного реагента обеспечивает существенное увеличение фильтрата, который возможно в максимальном количестве вернуть в цикл обогатительной фабрики. Изначально по технологии [98] предусматривается формирование на специально отведенной и

подготовленной площадке карт намыва. Площадку рекомендуется размещать с учетом расположения всего комплекса горнорудного предприятия на бросовых или малоценных, не пригодных для сельского хозяйства землях, вблизи обогатительной фабрики. Площадка под хранилище выбирается с минимальным стоком поверхностных вод с окружающих их склонов, и должна иметь уклон, обеспечивающий эффективный отвод фильтрата в процессе складирования хвостов. Моментальная работа реагента способствует интенсивному объединению твердой фазы и быстрому водоотведению. Таким образом, в процессе намыва формируется гомогенный, стабильный, быстросохнувший массив. Параллельно с заполнением третьей карты начинается отгрузка тяжелой техникой хвостов обогащения, обезвоженных в первой карте. Обезвоженный материал вывозится и складывается в специально подготовленный отвал, либо подается сразу на узел окомкования и далее на переработку физико-химической геотехнологией. Автор убедительно доказал, что при такой подготовке и складировании текущих хвостов обогащения увеличивается время функционирования действующего хвостохранилища, сокращаются площади, требуемые для строительства новых хвостохранилищ, обеспечивается эффективная транспортировка материала.

В работе [18] предложено формирование техногенного пространства с использованием существующего внешнего отвала вскрышных пород для размещения сгущенных продуктов обогащения, после строительства комплекса сгущения хвостов обогащения. При этом часть внешнего отвала будет выполнять функцию внутреннего откоса приемной емкости, а остальная ее часть будет сформирована с использованием пород, размещенных в данном отвале. Предотвращение проникновения сгущенного продукта и воды в тело дамбы обеспечивается отсыпкой тела ограждающей дамбы из скальных пород внешнего отвала, а изоляционного слоя на поверхности внутренних откосов формируется из глинистых пород [35]. По периметру техногенной емкости предусмотрено формирование перехватывающих канав с целью

организованного сбора воды и подачи ее в систему оборотного водоснабжения обогатительной фабрики. С учетом значительной площади и объемов создаваемой техногенной емкости, свободной водоотдачи продукта сгущения и притока поверхностных вод, для предотвращения накопления воды и обеспечения устойчивости ограждающих дамб предусмотрено строительство шандорных колодцев в местах с наименьшей отметкой рельефа, исходя из технологии и очередности складирования продукта сгущения хвостов обогащения [35].

Одним из основных принципов по сохранению техногенного сырья и разработке техногенных месторождений является принцип отдельного хранения отходов [8]. Обеспечить отдельность хранения техногенного сырья возможно в случае размещения их в отдельных хвостохранилищах, либо в хвостохранилище, разделённом на секции, поля или карты. Разделение хвостохранилищ на секции может быть: каскадное (для овражно-блочных хранилищ); секторное (для круглых в плане хранилищ); секционное вытянутое или компактное; картовые, когда число секций больше четырёх, расположенных компактно. Каскадное, секторное и картовое размещение отходов имеют определенный порядок формирования, зависящий от числа секций, последовательности их заполнения и формы хвостохранилища в плане. Секционные хвостохранилища целесообразны к использованию для равнинных, пойменных и косогорных типов хвостохранилищ. Формирование хвостохранилищ с позиций их последующей отработки при сравнении условий и свойств техногенного сырья показывает, что наиболее универсальными при эксплуатации являются хвостохранилища равнинного типа.

Таким образом, выполненный анализ существующих технологий складирования некондиционных руд и техногенного сырья показал, что формирование техногенных образований происходило, как правило, бессистемно и без учета возможностей и оценки целесообразности эксплуатации в будущем. Несмотря на очевидную необходимость защиты

окружающей среды от воздействия техногенных отходов, явную потребность в проведении специальных мероприятий, направленных на минимизацию природного выщелачивания ценных компонентов и сохранение качества минерального сырья, на подавляющем большинстве предприятий такие мероприятия не реализуются.

1.2 Общая горно-геологическая характеристика техногенных образований из хвостов обогащения Тырныаузского обогатительного комбината

Тырныаузское месторождение содержит около 40% российских запасов вольфрама и более 10% разведанных запасов молибдена. Оцененные запасы руды составляют около 360 млн тонн. Уникальность месторождения в том, что руда в Тырныаузском месторождении залегает как на глубине в недрах, так и имеет выходы на поверхность. Таким образом, её можно добывать как подземным, так и открытым способом, что оказывает положительное влияние на показатели рентабельности добычи. Это самое высокогорное месторождение в мире, где перепад высоты между нижним и верхним рудопоявлением принимается от 1850 м до 3250 м над уровнем моря.

В прошлом, ныне закрытый Тырныаузский горно-обогатительный комбинат (ТГОК) – предприятие, расположенное в городе Тырныаузе, республика Кабардино-Балкария, специализировавшееся на добыче и обогащении вольфрамо-молибденовых руд. В структуру комбината входили – обогатительная фабрика, подземный рудник «Молибден», два открытых карьера «Высотный» и «Мукуланский», известковый завод, заводы низковольтной электроаппаратуры, силикатного кирпича и железобетонных изделий. До 1968 года Тырныаузское месторождение обрабатывалось подземным способом, позднее производилась комбинированная отработка сочетанием открытых и подземных горных работ.

Подземный рудник находился на отметках 2–2,5 км над уровнем моря, открытый карьер – на высоте выше 3 км. Добытая руда измельчалась на высотной площадке рудника и затем перепускалась по системе пульпопроводов на высоту почти километр вниз на обогатительную фабрику. Производимый на фабрике концентрат транспортировался на дальнейшую переработку на гидрометаллургический завод в г. Нальчик, а отвальные хвосты направлялись по пульпопроводу и перекачивались в хвостохранилище, расположенное на удалении 12 км.

На пике своей производительности Тырныузский ГОК перерабатывал до 10 млн т руды в год. Первоначально вся добытая руда доставлялась с промплощадки штольни «Капитальная» (4 горизонт, отм. 2615 м) напрямую на обогатительную фабрику посредством подвесной канатной дороги (ПКД). Начиная с 1978 года, ниже промплощадки рудника был возведён корпус самоизмельчения и проложен гидротракт. В последующем схема транспортировки сырья кардинально изменилась. Добытая в руднике и на открытых карьерах руда, поступившая по рудоспускам на главный откаточный горизонт, выдавалась большегрузными железнодорожными составами с электрической тягой на дневную поверхность через штольню «Главная» (12 горизонт, 2015 м). Вагонетки отправлялись на дробильную установку у промплощадки рудника, затем материал конвейером доставлялся в корпус самоизмельчения. Раздробленная руда поступала на мельницы мокрого самоизмельчения, после чего полезные ископаемые вместе с водой (пульпа) спускали с отметки 1960 метров над уровнем моря по безнапорному гидротракту на отдельную секцию флотации главного корпуса обогатительной фабрики, расположенную в долине реки Баксан. После флотационного обогащения начинался процесс сгущения и обезвоживания. Хвостовой материал отправлялся по пульпопроводу на хвостохранилище (озеро Гижгит), а полученные концентраты автотранспортом доставляли на завод «Гидрометаллург» в город Нальчик. На хвостохранилище стояли плавучие насосные станции высокого давления, которые возвращали

техническую воду по трубопроводу обратно на фабрику. В конце 80-х годов был открыт корпус обогащения скарнированных мраморов в тяжёлых средах. В цехе происходило разделение тяжелых рудных фракций, содержащих вольфрам, и легких кальциевых руд с небольшим содержанием молибдена.

К концу 80-х годов Тырныаузский горно-обогатительный комбинат стал одним из крупнейших предприятий цветной металлургии СССР, а добыча руды составляет почти 7 миллионов тонн в год. К концу 80-х годов был модернизирован цех откатки и доставки руды на обогатительную фабрику. Был пущен новый корпус самоизмельчения руд, проложен гидротракт, открыт новый цех обогащения бедных скарновых руд. В 1998 году Тырныаузский горно-обогатительный комбинат передают в республиканскую собственность, что, по сути, стало концом для некогда крупнейшего промышленного гиганта Кабардино-Балкарии. К 2012-му оборудование на комбинате полностью разукomплектовано и распродано в счёт долгов.

Тырныаузский горно-обогатительный комбинат флагман цветной металлургии России, осуществлял добычу и переработку вольфрамовых руд в течение многих десятилетий. Кондиционными считаются руды с содержанием триоксида вольфрама $\text{CWO}_3 > 0,1\%$. В хвостах флотации было содержание $\text{CWO}_3 < 0,04\%$. В процессе подготовительных горных работ эксплуатационный блок расчленялся на кондиционные и некондиционные руды, выемка которых из недр осуществлялась отдельно: кондиционные руды отгружались на обогатительную фабрику, а некондиционные направлялись в отвал.

Технологическая схема и показатели добычи и переработки руд показывают, что на долю кондиционных руд приходилось всего 13,5% от всего объема добытой горной массы. В этих рудах содержалось лишь 34,6% полезного компонента. Некондиционные руды, составляющие 86,5% добытой рудной массы, поступали в отвал, унося с собой 65,4% металла, содержащегося в эксплуатационном блоке. Таким образом, уже первая стадия добычи коренных руд была связана с огромными потерями ценных компонентов, причём – это потери не в недрах, а в отвалах, в техногенных

образованиях. На обогатительной фабрике руда подвергалась дроблению, измельчению и флотации. В хвосты флотации уходило 13,48% рудной массы, вместе с которой удалялось ещё 11,4% полезных компонентов. В итоге из всей массы металла, содержащегося в эксплуатационном блоке, в товарный концентрат извлекалось всего 23,2%, а 76,8% отправлялось в отвалы некондиционных руд и хвостохранилищ.

Изучение технологической пробы некондиционной руды Тырнаузского месторождения показало, что отвалы некондиционной руды и хвостохранилища – это полноценные потенциально эффективные для разработки техногенные образования, пригодные для переработки сырья, причём, со значительно меньшими затратами, по сравнению с месторождениями коренных руд. Проба отвального сырья состояла из кусков, крупностью 25–50 мм. Среднее содержание $CWO_3=0,057\%$, т.е. в целом – это категория забалансовых руд, так как минимальное промышленное содержание в руде $CWO_3=0,1\%$. После взвешивания и анализа каждого куска и ранжирования кусков по содержанию CWO_3 вся проба была разделена на 20 отдельных порций примерно равных по массе. Затем эти порции были объединены в три группы. В группу I вошли 5 порций с самыми высокими значениями CWO_3 , для каждой из которых содержание CWO_3 оказалось выше, чем в хвостах флотации, т.е. $CWO_3>0,04\%$. В группу II попали 5 порций, у которых среднее накопленное содержание металла оказалось выше, чем минимальное промышленное на месторождении, т.е. $CWO_3>0,1\%$, но в самих порциях содержание металла ниже, чем в хвостах флотации, т.е. $CWO_3<0,04\%$. В группу III попали оставшиеся 10 порций, у которых оба показателя ниже установленных пределов.

Анализ результатов исследований показал, что распределение вольфрама в кусках и порциях некондиционной руды весьма неравномерно. Действительно, некондиционная в целом горная масса технологической пробы, оказалась, наполовину (10 из 20 порций) представлена вполне кондиционной рудой, в которой сосредоточено 92,8% всего металла, а его

средняя концентрация $СWО_3=0,106\%$. Более того, кондиционная рудная часть пробы также наполовину сложена некондиционной рудой со средним содержанием $СWО_3=0,026\%$ с запасом металла в 11,4%. Следовательно, в данном случае, отвал некондиционных руд на 50% представлен вполне кондиционными рудами, в которых сосредоточено 92,8% металла со средним содержанием $СWО_3=0,106\%$. Такой отвал нельзя считать бросовым, он должен рассматриваться как техногенный объект, вполне пригодный для разработки, причём, с гораздо меньшими затратами, чем на коренных рудах, так как горная масса в нём уже добыта и складирована.

Материал хвостохранилища, расположенного на 5 километров ниже г. Тырнауза по долине реки Баксан, представлен измельченной смесью породообразующих отходов Тырнаузского комбината. Несмотря на то, что хвостохранилище рекультивировано путем засыпки аллювиальным материалом, оно продолжает представлять собой источник экологической опасности и подлежит утилизации. После того как в 2001 году предприятие полностью остановило работу, ввиду массового селевого схода горных пород в долину, в хвостохранилище перестали поступать продукты отмыва руды, что привело к обмелению озера и, как следствие, к росту площади сухого пляжа, на дне которого находятся пылевидные отходы комбината и разносятся ветром на прилегающие пастбища и к населенному пункту Былым.

Расположение месторождения в Приэльбрусье, являющемся уникальной экосистемой и динамично развивающимся ведущим туристическим регионом России, делает вопросы экологической безопасности разработки хвостохранилища с позиций использования техногенного сырья первостепенными. Наследие Тырнаузского ГОКа в виде гигантских заброшенных хвостохранилищ представляет собой большую экологическую угрозу для горного района, подверженного селям.

В 2017 году было создано ООО «Эльбрусский горнорудный комбинат», в виде дочерней компании госкорпорации «Ростех». В планах компании был к 2023 году возобновить эксплуатацию Тырнаузского месторождения. В

настоящее время этот проект реализуется с некоторым отставанием по срокам ввода мощностей.

Было рассмотрено более 20 систем доработки запасов Тырнаузского месторождения. Принята камерная система отработки месторождения с твердеющей закладкой выработанного пространства. Выбранная система отработки позволяет минимизировать потери богатой руды и в то же время обеспечить сохранность запасов, являющихся на сегодняшний день экономически и технологически неэффективными для извлечения. Кроме того, применение хвостов обогатительной фабрики для подготовки закладочной смеси для погашения отработанного пространства решает важнейшую задачу по минимизации вредного воздействия на окружающую среду региона за счёт отказа от строительства нового или эксплуатации существующего хвостохранилища. Одним из важнейших проектных решений стало размещение обогатительной фабрики непосредственно на площадке рудника на отметке 2 040 м. По сравнению с фабрикой Тырнаузского ГОКа, находившейся в черте города Тырнауз, это позволит избежать дорогостоящей транспортировки руды к подножью горы, а также эффективно транспортировать хвосты обогащения на поверхностный закладочный комплекс для приготовления закладочной смеси, направляемой в подземный рудник для погашения отработанных камер.

Обогатительная фабрика предусматривает многостадийную флотационную технологию обогащения руды с производством вольфрамового и молибденового концентратов. Учитывая негативный опыт Тырнаузского ГОКа по коллективно-селективной флотации всех типов руд месторождения, с целью оптимизации извлечения полезных компонентов проектом предусмотрена переработка только скарных руд на первом этапе, с дальнейшим постепенным вводом дополнительных технологических звеньев для переработки иных труднообогатимых типов руды.

Отходы обогатительной фабрики в основном будут использоваться для последующей закладки выработанного пространства подземного рудника, и

лишь небольшая часть хвостов будет осушаться и складироваться в чаше отработанного ранее Тырныаузским ГОКом карьера Мукуланский. Для этой цели проектом предусмотрено строительство поверхностного закладочного комплекса на отметке 2 440 м. Невозможность полного разделения вольфрама и молибдена флотационной технологией обуславливает необходимость введения гидрометаллургического передела по переработке концентратов обогащения руд. Проектом предусмотрено строительство гидрометаллургического завода на площадке регионального индустриального парка в г. Невинномысске Ставропольского края, приблизительно в 200 км от г. Тырныауза. В представленной концепции также предложено разделить материал хвостов на отдельные компоненты, что позволит произвести комплексную безотходную утилизацию отходов производства при обеспечении экономической рентабельности. Необходимо произвести последовательную магнитную сепарацию и гравитационное обогащение всех типов сырья.

1.3 Перспективные технологические решения по вовлечению в эксплуатацию лежалых хвостов обогащения многокомпонентных руд

Разработка хвостов, содержащихся в хвостохранилищах – более сложная задача, по сравнению с практикой их складирования и накопления.

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. Рыльниковой, Б.Д. Халезова, ИВ. Шадруновой и др. Анализ работ, посвященных исследованию отходов добычи и переработки руд, показал, что в настоящее время создан существенный научно-практический задел для целенаправленного формирования и

эксплуатации техногенных образований для вовлечения в эксплуатацию отходов производства [37,73,77,79,80,98]. К основным причинам роста накоплений отходов добычи и первичной переработки полезных ископаемых можно отнести ухудшение качества запасов ниже осваиваемых месторождений. Это, в свою очередь, определило необходимость вовлечения в эксплуатацию месторождений с более сложными горно-геологическими условиями и более низким содержанием полезных компонентов. Кроме того, отечественное горное производство отличается высоким уровнем потерь полезных ископаемых на стадиях добычи и переделов. Так, при осуществлении всех новых по добыче калийного сырья проектов планируется использовать только традиционный (шахтный) способ добычи, при котором в недрах теряется в среднем до 60 % руды. При обогащении добытой руды потери могут составлять до 90 %, что в среднем в два раза и более выше потерь в недрах при разработке рудных месторождений [13].

Немногочисленные работы посвящены определению физико-механических свойств техногенного сырья [60,87,88]. Не все эти работы связаны с будущими технологиями добычи хвостов, а в основном посвящены вопросам устойчивости гидроствалов и дамб. Имеется ряд публикаций, где укрупнённо оценена экономическая эффективность эксплуатации техногенного сырья, но без рассмотрения каких-либо технологических аспектов освоения [8,59,75,91].

Для разработки хвостохранилища с учетом механизации основных и вспомогательных процессов, могут использоваться способы выемки техногенного сырья с гидромеханизированной («мокрой») и механизированной («сухой») разработкой.

Гидромеханизированный способ приемлем как для разработки законсервированных хвостохранилищ, так и для выемки техногенного сырья из отсеков действующего хранилища [73]: с применением плавающих земснарядов, погружных насосов без предварительного рыхления и насосов с применением механического рыхлителя. К ограничениям использования

таких технологических схем следует отнести дополнительные затраты, связанные с разбавлением лежалых хвостов водой; приобретением значительного количества новой техники; высокой сложности организации забора, установки и перемещения самих земснарядов, дополнительными трудностями эксплуатации земснарядов в зимнее время.

Применение погружных насосов требуют значительно меньшего количества воды на разбавление сырья, извлекаемого из техногенных массивов, и обеспечивают решение проблемы как с разработкой лежалых хвостов, так и с транспортировкой до новой погружной насосной станции при более простой технологии устройства забора хвостов. Однако, разбавление лежалых хвостов водой также требуется. Кроме этого, следует отметить, что значительно большее количество используемой техники происходит за счет необходимости погружать насос с помощью подъемного крана – на каждый насос требуется свой кран. Положительным моментом является сокращение расходов на транспортирование техногенного сырья при применении гидротранспорта, что способно повысить эффективность применения гидромеханизированных геотехнологий.

В работе [8] отмечено, что при обслуживании хвостохранилищ, имеющих отстойники оборотного водоснабжения, большие пылящие поверхности пляжей, дамбы обвалования поверхности пляжей, сложенных из тонкодисперсных влажных хвостов, зачастую не выдерживают перемещения большегрузной техники, которая часто проваливается и буксует. Поэтому на обводнённых пляжах обычно используют гусеничную технику высокой проходимости типа болотоходов [99].

Карьерные экскаваторы, оборудованные ковшом типа «прямая» или «обратная лопата», имеют высокое напорное усилие ковша, что предпочтительно на слежавшихся грунтах и на смерзшихся прослойках, обладают невысоким давлением на грунт (0.2–0.25 МПа), но на обводнённых грунтах (при вибрациях двигателей) являются не устойчивыми и тонут. Важно, что при «сухом» способе разработки техногенного образования

необходимо учитывать максимальное давление на грунт при работе механизмов по выемке техногенного сырья и его транспортировке [19-21]. Для повышения механической устойчивости работы экскаваторов в вязких грунтах возможно применение специальных настилов, понтонного основания, матов, либо упрочнение оснований твердеющими составами.

Кроме того, применение выемочно-погрузочного оборудования типа «обратная лопата» в значительной степени расширяет рабочие возможности выемки слабо устойчивых грунтов прудковой зоны [57]. Экскаватор устанавливается на верхней площадке, что устраняет необходимость применения дополнительных мероприятий по увеличению устойчивости рабочей поверхности. Разработка прудковой зоны предпочтительна в зимний период. Для повышения устойчивости работы и перемещения карьерного оборудования, повышения интенсивности отработки хвостохранилища, предотвращения непредвиденных оползней в забое необходимо выполнять в летний период предварительное осушение разрабатываемого участка [21,72,99].

Технологическая схема разработки техногенного образования с применением одноковшовых карьерных погрузчиков широко применима, поскольку погрузчики характеризуются большей мобильностью и меньшими нагрузками на массив хвостохранилища. Преимущества и недостатки этой схемы аналогичны перечисленным выше.

Преимуществом применения экскаваторов типа драглайн является возможность устойчивой работы при установке на прочное освоение ложа или дамбы хвостохранилища. Недостатками схемы является меньшая производительность драглайнов, по сравнению с мехлопатами и погрузчиками. Данная группа технологических схем может быть применена при ограниченной площади отсеков хвостохранилища, коррелируемой размерами стрелы драглайна, либо необходимостью проведения удорожающих мероприятий, связанных с укреплением рабочих площадок в ложе хвостохранилища [21,99].

Высокая производительность характерна также для технологических схем, базирующихся на применении карьерных комбайнов. Однако, несовершенство этих схем состоит в более сложной конструкции, необходимости приобретения нового механизма и самые значительные ограничения по размерам инородных включений. Анализ опыта разработки хвостохранилища и добычи лежалых хвостов Ковдорского ГОКа [43] показал, что при влажности разрабатываемого грунта выше 15% происходит его разжижение при движении на ленте и вызывает значительные трудности при непосредственной эксплуатации комбайна. Вместе с тем, при росте потребностей в освоении техногенных образований область применения этой группы технологических схем будет расширяться, особенно на базе роботизированных безлюдных технологий, корректирующих свои параметры в автоматическом режиме в зависимости от характеристик техногенных массивов и физико-механических свойств техногенного сырья.

Наиболее распространённым видом транспорта на песчаных грунтах является автомобильный. Этот вид транспорта зарекомендовал себя достаточно хорошо в любых условиях. В качестве внешнего транспорта он имеет ограничение по экономичности: эффективен при дальности транспортирования до 7 км. В песчаных забоях автотранспорт надёжен и высокоманёврен. Несущая способность хвостов, как правило, обеспечивает эксплуатацию карьерных дорог без покрытия и повышается при укатывании влажных грунтов.

Для решения вопроса о выборе горнотранспортного оборудования при разработке хвостохранилища следует оценить допустимые нагрузки на грунт в различных условиях и сравнить их с показателями удельного давления на грунт выбираемого оборудования. Допустимые нагрузки зависят от прочности материала, и в инженерной геологии и практике дорожного строительства разработаны методы и приборы для определения показателей прочности сыпучих грунтов [8,21,85].

Возможны комбинированные способы добычи хвостов, предусматривающие одновременное использование разработки хвостов сухим способом и мокрым, что дает возможность разработки бортов законсервированного хвостохранилища одновременно с добычей хвостов из затопленной части. Однако, в этом случае основными недостатками будут большее количество применяемой техники и создание дорогостоящей инфраструктуры для обслуживания всего парка оборудования [98].

Безусловно, выбор конкретного способа разработки хвостохранилищ (или их комбинаций) может быть осуществлен лишь применительно к конкретным техническим, технологическим, экономическим и организационным условиям на основе технико-экономических расчетов с учетом всех факторов, усложняющих разработку и переработку хвостов.

Многообразие минеральных форм техногенного сырья предопределяет сложность его переработки и диктует необходимость применения иных технологий.

Таким образом, при вовлечении техногенных месторождений в эксплуатацию требуется учитывать: необходимость усреднения качественных характеристик техногенного сырья в карьере, способы и методы усреднения; засорение техногенного сырья лесом, металлом, бетоном и отсутствие подготовки дна хвостохранилищ (террасированием, гидроизоляцией и т. п.); обводненность массивов и методы дренажа, осушения и водоотведения; конструктивные особенности хвостохранилищ, порядок их формирования и размещения.

Большинство развитых зарубежных стран осуществляют политику сбережения своих ресурсов, интенсивно вовлекая в переработку техногенные образования, утилизируя отходы производства, разрабатывая технологии переработки отходов. В Российской Федерации методы и технологии вовлечения техногенного минерального сырья, к сожалению, не нашли массового применения [24,26]. Работы, проведенные в данном направлении, показывают, что, несмотря на сложность физико-химического состава и

состояния лежалых хвостов, и необходимость применения разветвленных схем обогащения, данное направление должно развиваться более активно [24,26].

Известны разработки по извлечению золота и цветных металлов из лежалых хвостов флотационных фабрик [76]. Для переработки старогодних хвостов Бурибаевской обогатительной фабрики предложена схема, включающая измельчение хвостов с флотоклассификацией слива гидроциклона и последующей медной флотацией пенного продукта флотоклассификации.

Авторы [1,2,4,22] считают, что из известных способов извлечения металлов выщелачивание является более перспективным, хотя оно характеризуется большей длительностью процесса и не обеспечивает извлечения до фонового уровня [4]. Возможность извлечения металлов до уровня санитарных требований создает технология с механохимической активацией процессов выщелачивания, которая увеличивает извлечение металлов в 1,5–2 раза [2]. По мнению авторов [1,2,22], в процессе механоактивации извлекаются все содержащиеся в хвостах металлы до уровня санитарных требований, после чего вторичные хвосты становятся пригодными для получения товарной продукции широкого спектра.

Выбор методологии и общих приемов переработки минерального сырья техногенных месторождений, по утверждению акад. В.А. Чантурия, должен базироваться на основе глубокого изучения изменения физико-химических и технологических свойств поликомпонентных систем [89,90].

В работах [49,62] рассмотрен подход к решению задачи эффективного вовлечения в эффективную разработку техногенного сырья с позиции сочетания физико-технических и физико-химических геотехнологий. Применение таких технологий связано со сложностью обеспечения требуемого качества формируемых минерально-сырьевых потоков сложного вещественного состава и различного агрегатного состояния. Д.Н.Радченко [62] на основе использования физико-химической геотехнологии для доизвлечения

металлов из отходов переработки руд с их последующей утилизацией при закладке выработанного пространства убедительно доказал, что для выщелачивания металлов из текущих отходов обогащения целесообразно применять физико-технические методы интенсификации с целью обеспечения доступа растворителя в массив шламистого материала.

В работе [16] отмечено, что в результате природного воздействия на массив техногенного объекта происходит естественное геодинамическое движение флюидов. Так как среда массива хвостохранилищ является агрессивной, то, вследствие движения флюидов, происходят сложные физико-химические превращения и некоторые элементы, по мнению авторов [16], могут переходить в раствор, из которого в дальнейшем возможно извлечь необходимые элементы. В первую очередь, интерес представляют благородные металлы, так как для экономически эффективного промышленного извлечения необходимы малые содержания в растворах, в связи с высокой стоимостью этих металлов. Авторы [16] считают, что на основании изучения закономерности протекания геофлюидных процессов и их параметров можно задать внешнее управляющее воздействие на геофлюидные и физико-химические процессы в массиве с целью их активации и разработки новых технологий извлечения ценных компонентов.

В исследовании [7] обоснованы рациональные технологические методы и режимы обогащения лежалых вольфрамсодержащих хвостов и установлено, что техногенное вольфрамсодержащее сырье Джидинского комбината эффективно обогащается гравитационным методом.

В работе [73] И.В. Терентьевой исследованы возможности комплексного освоения запасов законсервированного Жезказганского хвостохранилища. Ввиду отсутствия у сырья необходимых технологических свойств (пористости, прочности, связанности), подготовка сырья предусматривает формирование технологических свойств путем изменения совокупности физико-механических характеристик, вещественного состава и структуры сырья. Изменение его свойств должно осуществляться, по мнению автора,

совместным химическим, механическим и физическим воздействием. В работе [73] предложена схема переработки лежалых отходов обогащения, включающая измельчение, черновую коллективную флотацию, обезвоживание черного концентрата, его шихтовку со связующим хлоридом натрия и дальнейшую грануляцию.

Чл.-корр. РАН Д.Р. Каплуновым и проф. М.В. Рыльниковой доказано, что в условиях истощения благоприятных к выемке запасов при постоянном росте потребления минерально-сырьевой продукции только сочетание физико-технических геотехнологий и физико-химических, базирующихся на придании подвижности извлекаемым элементам путем изменения фазового состава вещества, способно обеспечить требуемые показатели полноты и комплексности извлечения ценных компонентов их техногенных минеральных георесурсов [36,78]. В работе [36] подчеркнута, что для вовлечения техногенных ресурсов в эксплуатацию должны проектироваться новые, ранее не характерные для традиционного горного производства геотехнологические процессы, либо известные процессы рассматриваться в новом качестве, включая:

- кучное выщелачивание ценных компонентов из техногенного сырья с формированием штабелей выщелачивания в выработанном пространстве карьеров, подземных камер, на отвалах с применением в качестве активных агентов выщелачивания минерализованных рудничных вод;
- грануляцию и окомкование дисперсного техногенного сырья при подготовке его к выщелачиванию;
- сгущение и обезвоживание техногенного сырья перед складированием в выработанном пространстве карьеров и шахт: ранее этот процесс сопровождал исключительно обогатительное производство и гидрометаллургический передел;
- поризацию хвостовой пульпы перед подачей в выработанное пространство с целью придания заданных фильтрационных характеристик техногенному массиву для последующего выщелачивания ценных компонентов [36].

Анализ опыта обращения с отходами показывает, что по мере развития технологии и совершенствования процесса переработки повышается качество получаемой на их основе продукции: от суррогатного неполноценного заменителя до высококачественной высококонкурентной продукции [21,23]. Проблема существует в утилизации отходов во всех отраслях промышленности, не случайно принято общегосударственное постановление решение проблемы, сегодня созданы специальные комитеты по решению этих вопросов, причем эта проблема существует также в золоторудной отрасли [29] и для медно-колчеданных месторождений.

Таким образом, рациональное освоение техногенных образований возможно только на основании изучения факторов, обуславливающих вовлечение техногенного минерального сырья в эксплуатацию. Поэтому в диссертации была поставлена задача по решению вопроса утилизации техногенного сырья вольфрамо-молибденовых руд.

1.4 Факторы, определяющие условия вовлечения в эффективную и безопасную эксплуатацию техногенных образований из отходов добычи и переработки многокомпонентных руд

Неудовлетворительное использование техногенных минерально-сырьевых ресурсов при текущем и перспективном планировании и прогнозировании развития предприятий минерально-сырьевого комплекса обусловлено не только недостаточной разработкой технологических регламентов и соответствующих технико-экономических обоснований, но и слабой организацией сбора и накопления достоверной информации об имеющихся ресурсах.

Вовлечение в переработку техногенного сырья актуально не только с точки зрения появления дополнительных сырьевых ресурсов, но и с целью обеспечения нормализации экологической обстановки в развитых горнопромышленных районах. Целесообразность вовлечения в повторную

переработку отходов и природно-техногенных запасов горного производства с расконсервацией старых рудников определяется соотношением ожидаемой прибыли и затрат на переработку и складирование вторичных отходов, а также на разработку и реализацию комплекса мероприятий по защите окружающей среды от загрязнения. Для каждого вида накопителей отходов (отвалы, хвостохранилища, шлако- и шламоотвалы, терриконы, эффели и пр.), в зависимости от состояния и вида заскладированных отходов, требуется индивидуальный подбор технологии их переработки. При разработке проектов должны быть выявлены и учтены основные факторы, определяющие эффективность перспективных геотехнологий реализации. К ним относятся состав, последовательность и режимы реализации всех операций по подготовке исходного сырья для доизвлечения ценных компонентов и безопасному захоронению вторичных отходов с переводом их в более низкий класс опасности. Еще более специфичен набор мероприятий по обеспечению эффективности горных работ на законсервированных и отработанных месторождениях, в недрах которых (исходя их современных кондиций) имеются достаточно значительные запасы ценного сырья.

С учетом вышеизложенного, уже на стадии подготовки проекта инвестиций по каждому объекту должны быть учтены и оценены: суммарная масса черных, цветных, драгоценных и редких металлов и других ценных компонентов (в том числе строительных материалов, являющихся дефицитным для данного региона) в накопителе; наличие и возможность получения земельных участков для размещения вторичных отходов; состояние отходов в накопителе, определяющее выбор технологии их переработки (степень окисления рудных минералов, прочность и хрупкость отходов); степень негативного воздействия на окружающую среду горнопромышленных территорий, примыкающих к промзоне (запыление атмосферы, загрязнение почв, поверхностных и подземных вод); затраты на консервацию накопителей вторичных отходов на месте их складирования.

Основное отличие хвостов обогатительных фабрик от других отходов горно-металлургического производства — высокая степень их измельчения и, как следствие, большая удельная поверхность, по сравнению с отвальными породами она на 3–4 порядка выше. Этой особенностью обусловлено более интенсивное протекание процессов выщелачивания тяжелых металлов из отходов после консервации хвостохранилищ, хотя содержание рудных минералов в них может быть существенно ниже, чем в некондиционных рудах, заскладированных в отвалы.

Состав и строение техногенных месторождений определяются целым рядом факторов, важнейшими среди которых являются: технологические условия образования отходов в ходе добычи и обогащения руд, переработки концентратов руд; состав исходного сырья на месторождениях цветных и редких металлов, полиметаллических, железорудных и других типов коренных месторождений; рельеф дна хвостохранилища; виды окислительных и восстановительных процессов в приповерхностной зоне; закономерности физико-химических и механических процессов; влияние климатического воздействия, эрозии, выщелачивания и выветривания. Подвергнутое ранее техногенному воздействию минеральное сырье интенсивно окисляется, выщелачивается и разрушается, что приводит к изменению минералогического и вещественного состава техногенных отложений, выносу ценных элементов и образованию ореолов вредного воздействия и рассеяния и тяжелых металлов вокруг техногенных образований.

Важно учитывать, что при флотационном обогащении основная масса хвостохранилищ представлена пылевидным материалом, а при гравитационном — мелкозернистым. В пылевидном материале частиц с диаметром менее 0,1 мм свыше 25%, а в мелкозернистом — частиц с диаметром, 0,1 мм менее 25%. Полезные компоненты распределены в хвостохранилищах неравномерно. Возникновение участков с повышенной концентрацией металлов зависит не только от изменения показателей технологии

обогащения, но и от ряда других факторов, таких как временной режим, место сброса пульпы, которые не являются постоянными;

Отходы обогащения, представленные лежалыми хвостами, являются, преимущественно, мелкодисперсным, как правило, шламистым материалом, который отличается от природного сырья не только гранулометрическим и фазовым составом, но нередко и содержанием целого ряда химических веществ и новообразований, возникших в процессе переработки и хранения техногенного сырья. Такие отходы из мелкодисперсного материала имеют водонасыщение до 20–50 %, плотность 1,5 г/см³, содержание глинистых частиц – до 50 %. Для них характерна бесструктурность, высокая водопроницаемость и склонность к пылеобразованию.

Освоение техногенных образований определяется, прежде всего, физико-механическими свойствами техногенных массивов, их влажностью, коэффициентом компрессии, модулем деформации и сдвига. Эти характеристики оказывают определяющее влияние на устойчивость откосов и основания техногенного массива при разработке техногенного сырья и, следовательно, являются основными факторами при выборе способа и схемы механизации выемочно-погрузочных работ, что предполагает изучение гранулометрического состава техногенного сырья с получением основных параметров структуры техногенных массивов. Данные характеристики необходимы для выбора приоритетных вариантов способа разработки и обогащения отходов, техники, оборудования, схемы транспортировки и других проектных решений; изучение физических и физико-механических свойств сырья – плотности минеральной части, углов естественного откоса уступов на воздухе и под водой, пластичности, емкости катионного обмена, рН, относительного набухания и объемной усадки, критической пористости, критической влажности, соответствующей минимальной устойчивости техногенных массивов; определения максимального значения коэффициента сжимаемости образцов, компрессионных свойств; определение химического состава и содержания компонентов, формирующих структурные связи.

В зависимости от однородности, либо неравномерности распределения характеристик сырья, сезонности изменения свойств осуществляется выбор валового или селективного способа отработки отдельных участков хвостохранилища и определяется возможность реализации того или иного способа разработки.

Как и при разработке любого горного проекта, работы по повторной переработке хвостов требуют тщательного планирования всей технологической цепочки работ, включая определение технологических схем, выбор добычного и обогатительного оборудования для извлечения ценных минералов из отходов переработки многокомпонентных руд и мероприятий по снижению рисков, с учетом состояния конструктивной целостности дамбы.

Очевидно, что условия разработки каждого техногенного месторождения являются уникальными, равно как и его формирования. Прямой перенос существующих технологий освоения запасов техногенного минерального сырья применительно к другим объектам невозможен по ряду причин:

- отсутствует системный анализ фактического состояния сырьевой базы месторождения, включающий учет и классификацию запасов техногенных георесурсов в динамике;
 - отсутствуют методики оценки перспектив расширения сырьевой базы горных предприятий при реконструкции и техническом перевооружении производства, которое требуется осуществить в ближайшей перспективе для продления жизнедеятельности горнодобывающего региона, в том числе при соблюдении экономических, экологических и социальных требований;
 - не решены вопросы промышленной и экологической безопасности [68].
- Федеральные нормы и правила промышленной безопасности в принципе не учитывают специфику разработки техногенных образований.

Таким образом, первоочередными задачами вовлечения техногенных образований в промышленную эксплуатацию является решение вопросов, связанных с изучением хвостохранилищ как объектов перспективной

разработки с получением достоверной картины не только по содержанию ценных компонентов по глубине и площади хвостохранилищ, но и, в первую очередь, для оценки структуры и свойств массивов, зонального распределения минеральных форм и агрегатов как основы технологии разработки техногенных месторождений.

На основании выполненных исследований в таблице 1.1 приведены технические, технологические, организационные и экономические подходы вовлечения в производство техногенных запасов, представленных преимущественно хвостами обогащения многокомпонентных руд.

Таблица 1.1. Систематизация направлений исследований вовлечения в эксплуатацию отходов обогащения многокомпонентных руд

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
А.Б.Юн	Развитие теоретических основ проектирования геотехнологических параметров комплексного освоения крупного пологопадающего рудного месторождения;	Обоснованы параметры геотехнологий повторной добычи бедных руд и техногенного сырья; разработаны технологические рекомендации по совершенствованию технологии и параметров комплексного освоения месторождения на стадии доработки запасов
И.В. Терентьева	Усовершенствование процессов добычи техногенного сырья с учетом факторов, определяющих условия вовлечения в эффективную и безопасную эксплуатацию техногенных образований	Установлены закономерности изменения прочностных характеристик техногенного массива в зависимости от его влажности и температуры окружающей среды, используемые для обоснования порядка формирования горнотехнической системы освоения хвостохранилища
Э.Х. Оганесян М.Н.Сумин, А.Х. Оганесян А.С. Бадоев	Исследование влияния технологических параметров на формирование намывного техногенного месторождения, для увеличения его объема и обеспечения безопасности эксплуатации, обоснование рациональных параметров выемки техногенного массива с учетом влияния криолитозоны в процессе его разработки	Установлены зависимости между технологическими параметрами намывных техногенных месторождений и коэффициентом устойчивости ограждающей дамбы, предложен метод расчета рациональных параметров технологии отработки техногенных месторождений с учетом оценки и управления рисками эксплуатации намывных техногенных месторождений.
В.А. Ангелов	Обоснование способов подготовки техногенного сырья к эффективному использованию,	Предложены методика выбора способа подготовки техногенного сырья к эффективному использованию в зависимости от его ресурсной ценности

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
	совершенствование технологий его формирования путем использования новых реагентов и материалов для преобразования или сохранения вещественного состава техногенного сырья с целью разработки физико-химическими геотехнологиями.	и классификация отходов добычи и переработки руд по структуре, вещественному составу и физико-механическим характеристикам
Д.Н. Радченко	Исследование закономерностей формирования технологических свойств продуктов совместной переработки текущих хвостов обогащения медно-цинковых руд	Установлено, что в процессе хранения отходов обогащения в хвостохранилищах происходит природное выщелачивание металлов, в течение 35 лет содержание металлов в зоне аэрации законсервированного хранилища снизилось на 20–73 %. Выщелоченные металлы мигрируют в окружающую среду, поэтому целесообразно их извлечение из текущих хвостов обогащения.
Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова,	Усовершенствование научно-методического подхода к решению проблем проектирования комплексного освоения и сохранения недр, с учетом требований повышения полноты и качества использования минерального природного и техногенного сырья	Доказано, что для полного использования природных и техногенных георесурсов необходимо рассматривать горное предприятие как единый технологический комплекс по осуществлению полного цикла комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий
О.Е. Горлова	Развитие научно-методологических основ создания экологических, ресурсосберегающих технологий переработки горнопромышленных отходов	Разработана методология формирования технологий переработки горнопромышленных отходов при обосновании их параметров
Ф.Д. Ларичкин, Т.А. Блошенко, В.Н. Переин, Л.И. Гончарова	Развитие методических подходов к экономическому обоснованию параметров кондиций для подсчета промышленных запасов многокомпонентного сырья и отдельных ценных компонентов в горнопромышленных отходах	Предложена методика рационального недропользования и комплексной переработки многокомпонентного сырья, обоснована методика оценки экономической эффективности комплексного использования техногенного сырья
А.Б. Макаров, А.Г. Талалай	Изучение особенностей геологических исследований техногенных месторождений	Доказана эффективность аналитических исследований с использованием ядерно-физических методов для техногенных образований с учетом их разнообразного состава

Анализ работ отечественных известных ученых и практика безотходного производства свидетельствует, 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. 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.

Таким образом, всё вышеизложенное указывает на актуальность и народно-хозяйственную важность проблемы переработки и полной утилизации отходов горнорудной, металлургической, топливно-энергетической и химической отраслей промышленности. Существующие и перспективные технологические разработки позволяют оценивать прибыльность переработки техногенных месторождений и возможность перехода к безотходным технологиям для их полной ликвидации.

1.5 Цель, задачи и методы исследования

Использование вторичных минеральных ресурсов обеспечивает расширение минерально-сырьевой базы, компенсацию дефицита природного минерального сырья, экономию средств на размещение отходов, снижение потребности в инвестициях для освоения новых месторождений, предотвращение и снижение ущерба окружающей среде, получение дополнительных социальных эффектов. 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 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.

Целью исследования является 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.

Для достижения установленной цели исследования были сформированы и впоследствии решены **следующие задачи:**

- 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 вольфрамомолибденового комбината;

– исследование вещественного состава и структуры лежалого в хвостохранилищах Тырныаузского вольфрамомолибденового 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.

Для решения поставленных задач в качестве объекта исследования выбраны отходы переработки многокомпонентных руд Тырныаузского вольфрамомолибденового комбината.

Предмет исследования: параметры технологических процессов комплексного освоения техногенных образований Тырныаузского вольфрамомолибденового комбината.

Общей теоретической и методологической основой диссертации является комплексный подход, включающий анализ источников научно-технической информации, минералогический и структурно-графический анализ вещественного состава и структурных характеристик отходов обогащения многокомпонентных руд, термогравиметрический анализ лежалых хвостов обогащения, отобранных из пляжной и прудковой зон хвостохранилища, экспериментальные лабораторные исследования по извлечению ценных компонентов из техногенного сырья после переработки многокомпонентных руд, современные методы компьютерного моделирования, экономико-математический анализ и технико-экономические расчеты с обработкой результатов исследований методами математической статистики.

Основу теоретической и методической базы диссертации составили авторитетные мнения и экспертные заключения, отраженные в различных диссертационных работах, методических исследованиях, научных публикациях в отраслевых журналах, выступлениях на тематических конференциях и пр.

Информационно-эмпирическая база исследования была сформирована на основе данных месторождения вольфрамо-молибденовых руд, ранее разрабатываемого Тырныаузским горно-обогатительным комбинатом.

2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫХ ОСНОВ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

2.1. Специфика вещественного состава, структуры и состояния отходов добычи и переработки многокомпонентных руд, складированных в хвостохранилище

Отвалы отходов добычи и переработки многокомпонентных руд как перспективные источники сырья для различных областей индустрии издавна привлекали внимание [52]. Основной причиной этого является то, что для широкого вовлечения техногенного сырья в переработку, помимо необходимости строительства практически новых производств, способных реализовать новые технологические принципы и решения, которые разработаны, как правило, на уровне научных открытий, лабораторных или полупромышленных исследований и редко доведены до промышленной реализации – специфика вещественного состава, структуры и состояния старогодних отходов, которые претерпели преобразования при складировании и продолжительном хранении. Несмотря на это, перспективность использования техногенных минеральных образований очевидна, так как это позволяет одновременно решать целый ряд экономических, социальных и экологических проблем. Поэтому техногенные минеральные образования горно-обогатительных комбинатов являются важными источниками различных видов минерального сырья, в том числе и стратегического.

Техногенно-минеральные образования (ТМО) формируются вблизи горнопромышленных предприятий и хранятся в специальных хранилищах, которые представляют собой скопления минеральных образований, горных масс, жидкостей и смесей, содержащих полезные компоненты, являющиеся отходами горнодобывающих, обогатительных, металлургических и других видов производств. ТМО характеризуются различными количественными

параметрами и качественными свойствами, условиями и временем образования, экологическим воздействием на окружающую среду. Они характеризуются сложным внутренним строением, различаются по плотности, крупности обломков, вещественному составу, содержанию полезных компонентов и технологическим свойствам минерального сырья. ТМО занимают значительные земельные площади и являются источником пыле- и газовыделений, токсичных образований, загрязняют атмосферу, почву, поверхностные и подземные воды, оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду. Геолого-экономической оценке ТМО предшествует оценка экологического состояния и возможные изменения природной среды, связанные с их разработкой. Экономическая оценка значение ТМО зависит от их вещественного состава и продолжительности хранения. Среди горнопромышленных отходов (ГПО) выделяются отходы текущего выхода и отходы консолидированные – древние (старые) и активные (пополняемые). Отходы текущего выхода сохраняют первичные физико-механические свойства и химический состав, но в процессе хранения эти характеристики меняются воздействием процессов выветривания. Причем техногенное сырье может поступать к потребителю, минуя все другие стадии (складирование и прочие). Качественные, количественные, горнотехнические и технико-экономические параметры значительной части текущих и активных (пополняемых) отходов известны, что позволяет дать оценку их пригодности для промышленного освоения. Консолидированные отходы прошлых лет характеризуются изменением первичных физико-механических свойств и химического состава, как правило, засорены бытовыми отходами, мусором и металлоломом. Поэтому эти отходы, если и являются перспективными для промышленного использования техногенного минерального сырья, то почти всегда требуют дополнительного геологического изучения и технологической подготовки к использованию. Свойства скальных вскрышных и рудовмещающих пород сходные и характеризуются стабильностью литолого-минерального состава и физико-механических свойств. ТМО обогатительных

фабрик отличаются нестабильностью и неоднородностью состава. При совместном складировании различных по химическому составу и физико-механическим свойствам пород и руд, их перемешивании, окислении и выщелачивании при длительном хранении они подвергаются значительным изменениям.

Разнообразие вещественных форм и фазово-агрегатных состояний техногенных отходов определяется множеством сложившихся отраслей, перерабатывающих различные виды полезных ископаемых. С учетом этого техногенные отходы классифицируются по следующим признакам:

а) по производственным отраслям – угольная, черная металлургия, цветная металлургия, горная химия, промышленность стройматериалов, производство ядерных материалов;

б) по фазо-агрегатному состоянию – твердые, жидкие, газообразные;

в) по производственным циклам, предшествующим формированию отходов, – добыча, обогащение, металлургия.

Технологии использования ТМО горнопромышленных производства с получением минерального сырья диктует необходимость разработки эффективных процессов его переработки и утилизации. Минеральные ресурсы в современных условиях являются одним из главных элементов национального богатства, их эффективное использование определяет не только экономический потенциал и экологическую безопасность страны, но и решение многих социально-политических проблем. Проблемы утилизации отходов и рационального использования минерального сырья на современном этапе рассматриваются в рамках задачи комплексного использования минерального сырья в экономическом, сырьевом и экологическом аспектах.

В связи с проблемой утилизации отходов особое значение приобретают безотходные и малоотходные технологии. Экстенсивными составными частями безотходной технологии являются безотвальная и бессточная технологии, нацеленные на утилизацию всего объема горной массы и продуктов ее переработки, вместе вовлекаемых в оборот и преобразованием

техническими водами, разнообразными реагентами, горюче-смазочными и другими материалами.

Эффективность безотходной технологии во всех случаях обеспечивается интенсификацией технологических процессов, нацеленных на экономически целесообразное максимально возможное и полное извлечение из руд и вмещающих пород всех ценных компонентов с минимальными потерями и отходами. Техничко-экономические и экологические аспекты утилизации ТМО реализации технологии с максимально возможным полным и комплексным извлечением полезных компонентов из руд создает необходимые внутренние резервы горного предприятия в цикле обогащения и последующей глубокой переработки для развития малоотходных технологий в полном производственном цикле комплексного освоения недр. В свою очередь, организация в цикле вскрышных работ и добычи извлечения содержащихся в пустых породах и забалансовых рудах ценных компонентов с использованием их в качестве технических материалов переводит вскрышную массу в категорию товара, и она вся становится многопрофильными полезными ископаемыми. На многих предприятиях бедное сырье используется для закладки выработанного пространства, производства щебня для дорожных покрытий и в качестве строительных материалов, облицовочно-декоративного камня.

Анализ проблемы утилизации отходов переработки руд показал, что наибольший интерес проявляется к следующим типам месторождений полезных ископаемых: редкоземельным, золоторудным, урановым, колчеданным и вольфрамо-молибденовым. Однако, в известной работе д.г.-м.н., профессора С. Ф. Винокурова с соавторами [17] отмечено что, если для ряда месторождений общая стратегия утилизации отходов разработана и частично реализуется на практике, то для вольфрамо-молибденовых руд проблема утилизации отходов нуждается в проведении дополнительных исследований по оценке и выемке отходов из хранилищ техногенного сырья для доизвлечения ценных и утилизации вредных компонентов.

Также весьма важно, что состояние отечественной вольфрамомолибденовой отрасли, обеспечивающей потребности ряда стратегических предприятий оборонно-промышленного комплекса, машиностроения, металлургии, добывающих и других отраслей, требует безотлагательного принятия решений по развитию сырьевой базы, в том числе, в большей мере за счет вовлечения в переработку вторичных ресурсов, представленных в хвостохранилищах.

В настоящее время из предприятий, добывающих вольфрамомолибденовое сырье, работают только несколько:

- «Приморский ГОК» и «Лермонтовская ГРК», расположенные на Дальнем Востоке и выдающие около 3600 т/год и около 100 т/год концентратов, соответственно;

- «Новоорловский ГОК», находящийся в Читинской области и выдающий до 80 т/мес. концентратов.

Стоит отметить, что большая часть продукции экспортируется в основном в Японию и Китай. Вместе с тем проблема нехватки указанных металлов остро ощущается на предприятиях машиностроительного, военного и ракетостроительного комплексов России.

Принятая Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации группировка техногенных минеральных образований (ТМО) по извлекаемым металлам и генетическим типам месторождений полезных ископаемых с обозначением их минеральных составляющих (вольфрамит, шеелит, молибдошеелит, молибденит, повеллит, ферримолибдит) предполагает, по существу, определенную технологическую схему: гравитационную, флотационную и комбинированную с сульфидной (молибденитовой) и последующей основной шеелитовой флотацией соответственно. Выделение генетических типов месторождений с известной контрастностью руд в жилах, штокверках, скарновых телах и проявлениях метасоматитов среди пород разного состава служит основой классификации

природных и технологических типов руд с оценкой возможности кусковой сепарации балансовых и забалансовых руд, отвалов вскрышных пород.

Генетический тип месторождений, характеризующихся общими особенностями вещественного состава руд и вмещающих пород, минеральной формой главных рудных (молибден и вольфрам) и попутных элементов (благородные металлы, висмут, теллур, медь и другие) с различным содержанием нерудных компонентов определяет выбор перспективной технологии и эффективность процессов переработки руд и, тем самым, технологический тип и состав ТМО. Вариант промышленной классификация ТМО, относящихся к отходам обогащения молибденовых и вольфрамовых руд различных генетических типов, адаптированных на принятую в Государственном балансе систематику, представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Сводная промышленная классификация техногенных минеральных образований из отходов обогащения молибденовых и вольфрамовых руд.

Технологический тип ТМО	Ценные компоненты	Минералы	Генетический тип месторождений
Хвосты молибденовой флотации и кислотного выщелачивания	Молибден	Молибденит Повеллит Ферримолибдит	Штокверки, жилы и зона окисления
Хвосты гравитации	Вольфрам	Вольфрамит	Штокверки и жилы
Хвосты шеелитовой флотации		Шеелит	Метасоматиты в скарнах
Хвосты шеелитовой флотации, кислотного выщелачивания, гидрометаллург. переработки концентратов.	Молибден-вольфрам	Молибденит Шеелит Молибдошеелит Повеллит Ферримолибдит	Штокверки и метасоматиты в скарнах и др. породах. Зона окисления
Хвосты гравитации и сульфидной флотации	Золото и серебро	Золото самород., в сульфидах и теллуридах	Гидротермалиты в скарнах и др. породах
Хвосты гравитации и сульфидной флотации	Висмут, теллур и другие.	Висмут самород. Висмутинит Тетрадимит и др.	Гидротермалиты в скарнах, и др. породах

В развернутом виде эта классификационная схема дополнена, применительно к каждому типу месторождений вольфрамо-молибденовых

руд и типу ТМО (отвалы карьерной добычи, отходы сортировки, гравитационного, флотационного и иного обогащения, переработки концентратов) с более детальной геолого-минералогической и технико-экономической информацией. Такая информация должна содержаться в полной мере и в паспортах каждого конкретного техногенного объекта, как основа систематизации всей исходной информации для обеспечения условий их последующей эффективной эксплуатации, включая сведения:

- о гранулометрическом составе хвостов обогащения и отходах переработки промежуточных продуктов и концентратов;
- о содержании ценных компонентов, минеральных формах и распределении их по гранулометрическим классам техногенного сырья;
- о распределении благородных, цветных, редких и рассеянных химических элементов по минералам;
- о распределении разновидностей рудных минералов по классам крупности, по площади и в объеме ТМО;
- о содержании и распределении нерудных минералов и их разновидностях, химическом составе, содержании в них главных и попутных элементов, технологических и технических свойствах, минерализации, определяющих возможность оценки потребительской ценности;
- об объемах накопления и хранения техногенного сырья;
- о применяемых прогрессивных технологиях разделения минералов ТМО;
- о характеристике экологического состояния ТМО.

В многоминеральных формах техногенного сырья, в частности, в хвостах обогащения молибденовых, вольфрамовых или молибдено-вольфрамовых руд, в измельченных горных породах или золотоносных и других песках, рудных и нерудных минеральных частицах, отличающихся плотностью, классификация по размерам не всегда будет сопровождаться сепарацией. Находясь в сростках с легкими минералами, тяжелые рудные

минералы обычно могут содержаться в более крупных фракциях с высокой массой, а в виде переизмельченных частиц с относительно небольшой массой они могут находиться в более крупных частицах нерудных минералов.

Из проведенного анализа следует, что необходимая для объективной оценки техногенных объектов информация в большинстве случаев неполная и недостаточная для принятия проектных решений по их эксплуатации, она не раскрывает реального состояния вещественного состава и ценности запасов вторичного сырья, их технико-экономической готовности к рециклингу и эксплуатации.

Хвостохранилище №1 располагалось на левом берегу р. Баксан в черте г. Тырныауза, непосредственно рядом с обогатительной фабрикой. Оно полностью было размыто во время схода селевых потоков в 2000 г.

В 2001 году предприятие было вынуждено законсервировано, вследствие природно-техногенной катастрофы. При этом, следует отметить, что значение месторождения в минерально-сырьевом балансе России не изменилось. С геологических позиций запасы Тырныаузского вольфрамо-молибденового месторождения представляют собой серию крутопадающих скарновых тел различной мощности с шеелитовым и молибденитовым оруденением [96]. Распространение имеют минералы, с которыми связаны сопутствующие оруденения и минерализация элементов: Cu, Ag, Au, Bi, Zn, Pb, Sb, а также редких и рассеянных элементов Re, Cd, In, Se, Te.

Важно отметить, что Тырныаузский вольфрамо-молибденовый комбинат работал несколько десятков лет, и хвосты обогатительной фабрики по протяженной системе трубопровода с нагнетательными агрегатами и насосной станцией, перекачивавшей пульпу с подъемом на высоту около 160 метров, поступали сначала в хвостохранилище № 2, а после его заполнения и рекультивации – в новое хвостохранилище № 3 (рис. 2.1) [96].

Хвостохранилище № 2 находится в 3км от г. Тырныауза на левом берегу долины р. Баксан и формировалось с 1957 по 1967 гг., после чего было законсервировано и закрыто слоем грунта, толщиной 30-40 см. Средняя

мощность отходов составляет 45-50 м с запасами 52 млн т техногенного сырья, с максимальной мощностью 50 метров, которая вверх по склону уменьшается до 10 метров. Высотная отметка – 1100–1200 м. Общий периметр – 5 225.52 м. Занимаемая площадь – 438 784.76 м². Эксплуатация хвостохранилища №2 осуществлялась с октября 1956 г. по октябрь 1966 г. Тип хвостохранилища – намывное. Плотность техногенных грунтов в хвостохранилище 1,2–1,3 т/м³. Хвосты транспортировались по трубопроводу диаметром 600 мм. Дамба сложена песками. Намыв осуществлялся секционно по распределительному трубопроводу, диаметром 100 мм. Основная масса хвостов представляют собой измельченные скарны, роговики и мраморы, а также лейкократовые гранитоиды. Всего в хвостохранилище находится отходов – 25 млн тонн.

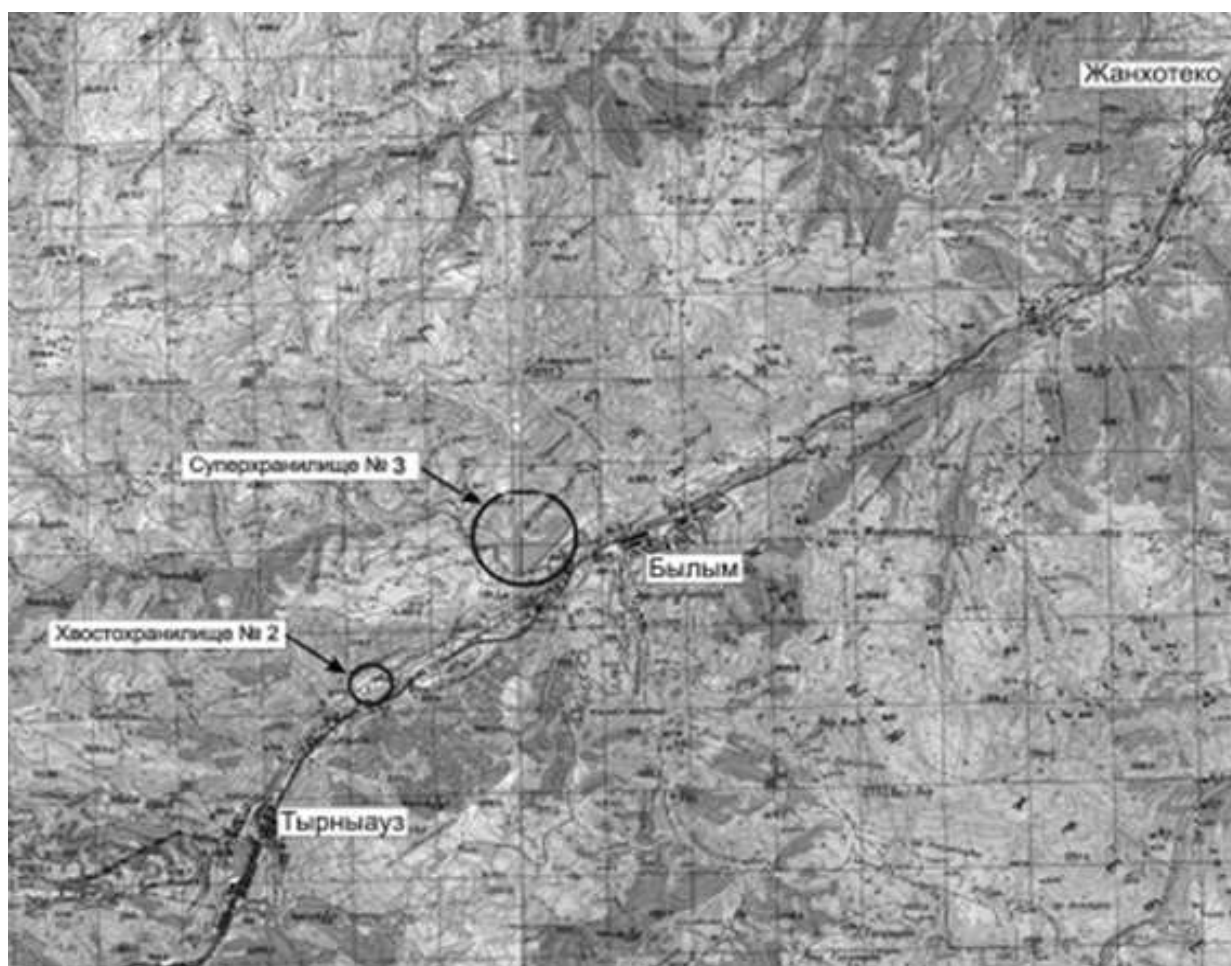


Рисунок 2. 1. Местоположение хвостохранилища №2 и суперхранилища № 3 ТВМК на топографической карте [95]

Хвостохранилище № 3 расположено на расстоянии 12 км, от обогатительной фабрики в устье р. Гижгит, являющейся левым притоком р.

Баксан. Оно образовано путем перекрытия её устья низовой насыпной дамбой и верховой плотиной. Река Гижгит через два водоотводных тоннеля сбрасывает воды в реку Баксан. Количество накопленных в хвостохранилище № 3 отходов – 105 млн т. Оно представляет собой залежь с максимальной мощностью 168 м, которая вверх по склону уменьшается до 20 м. Площадь – около 172,3 га, средняя толщина слоя хвостов около 50 м. Порядка 68 млн м³ составляют объемы хвостов в хвостохранилище.

На основании этого анализа рекомендуется проведение ревизионной переоценки запасов ТМО с проведением оперативных исследований по специальной, дифференцированной для каждого ТМО программе, обеспечивающей оценку принципиальной возможности рециклинга по известной или инновационной геотехнологии.

2.2. Систематизация природных и техногенных экологических рисков хранения отходов переработки многокомпонентных руд

Весомым фактором, требующим своевременного принятия решения по утилизации техногенных образований, является негативное экологическое воздействие на экосистему горнопромышленных регионов, связанное со складированием и длительным хранением токсичных отходов.

Негативное влияние техногенных образований оценено в большом количестве научных работ, в том числе в работах лаборатории экологически сбалансированного освоения недр ИПКОН РАН, проведенных на территории Южного Урала [58,61,69]. Так, в работе [66] экологический мониторинг был проведен, согласно методике, предусматривающей выбор конкретных представителей растительного и животного мира для проведения химических исследований тканей растений и животных в специализированных лабораториях. Был проведен отбор и подготовка проб, химические анализы, с сопоставлением полученных результатов. В исследуемых пробах было выявлено превышение содержания ряда токсичных элементов в десятки, сотни

и даже тысячи раз относительно ПДК, что доказало негативное экологическое воздействие хвостохранилища на экосистему региона и необходимость скорейшего и неотлагательного принятия мер по изъятию токсичного техногенного сырья из массива химически опасных грунтов и принятия неотложных мер по ликвидации хвостохранилища с целью предотвращения дальнейшей миграции токсичных элементов в окружающую среду [66].

Анализ факторов экологического воздействия хранения хвостов переработки руд на экосистему горнопромышленных регионов показал, что особую опасность представляют хвостохранилища, расположенные в гористой местности [3]. Это обусловлено принципом миграции химических элементов из хвостохранилищ, перенос которых осуществляется в подземных гидропотоках и реках, берущих начало в горах (рис. 2.2).



Рисунок 2. 2. Схема миграции химических элементов из хвостохранилищ, расположенных в гористой местности.

В связи с тем, что реки являются частью обширной гидросети региона, мигрирующие элементы негативно воздействуют на обширные горнопромышленные территории, изменяя состояние экосреды.

Кроме того, бессистемное складирование отходов сопровождается отведением значительных площадей под их складирование, что приводит к

изменению рельефа, частичному нарушению инженерно-геологических, гидрогеологических и эколого-геологических условий горнопромышленного региона [63]. К тому же, вследствие длительного складирования техногенного сырья, ввиду естественного выщелачивания химических элементов значительно снижается содержание ценных компонентов в законсервированном техногенном сырье. Например, за длительный период хранения отвалов, от 20 и более лет с момента их формирования с отвальными водами и за счет пыления с поверхности хвостохранилищ в окружающую среду выносятся практически все основные компоненты, как ценные элементы, так и токсичные составляющие [27].

Одной из важнейших проблем вовлечения в эксплуатацию техногенного сырья является отсутствие в базовых и рабочих проектах, разрабатываемых в период функционирования горных производств на основе уточнения данных об основных количественных и качественных характеристиках некондиционного сырья, информации о динамике изменения свойств в ходе складирования и хранения. Также весьма важно, что при освоении месторождений твердых полезных ископаемых параметрам формирования хвостохранилищ уделяется внимание, регламентированное нормами эксплуатации и требованиями экологических служб, лишь с позиций наиболее экономичного и безопасного складирования отходов. Однако, при прекращении эксплуатации хвостохранилища, вследствие завершения работы горно-обогатительного комплекса в целом или перехода на новое место складирования, внимание к складированию техногенных отходов ослабевает или вовсе прекращается.

Значительная часть техногенных объектов по окончании их наполнения заброшена, что приводит к серьезным экологическим и социальным последствиям. Поэтому объемы техногенных образований, сформированных в прошлом столетии в результате переработки руд без учета дальнейшего использования техногенного сырья, представляют собой значительную угрозу экосистемам горнопромышленных регионов [64]. Так, например, в районах

размещения хвостохранилищ происходит образование дренажных вод, что способствует миграции в водные объекты региона значительного количества не только потенциально опасных элементов, таких как ртуть, сера, мышьяк, бериллий, марганец, хром, кадмий, таллий и пр., но и ценных компонентов, включая драгоценные и редкоземельные металлы, не извлеченные при первичной переработке руд.

Результаты экологической оценки техногенных минеральных образований и биоиндикаторов в районе их расположения также подтверждают необходимость изучения старых техногенных объектов и анализа их токсичности с целью учета для дальнейшего обоснования и принятия первоочередных мер по их ликвидации [70]. Согласно результатам исследования [69,70], концентрации мышьяка в пробах растений, отобранных с территории хвостохранилищ, изменяются от 21,03 до 39,58 мг/кг, что превышает значение растительного кларка в 42 и 791 раз, соответственно. Явное превышение содержания мышьяка ПДК обуславливает необходимость безотлагательного принятия мер по изъятию химически опасного техногенного материала с целью предотвращения дальнейшей миграции As в окружающую среду.

В ходе исследования состояния окружающей среды в районе расположения хвостохранилищ Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината установлено, что соотношение почв и дернины сельхозугодий поселка Былым в отношении элементов, которые могут быть привнесены из материала хвостохранилища, является не удовлетворительным. Это может быть объяснено тем, что поселок находится на расширении долины р. Баксан, где отсутствуют перегибы склонов и прочие «ловушки» для переносимого ветром материала хвостохранилища.

На пастбищах в районе поселка Былым ситуация в отношении элементов, которые могут быть привнесены из материала хвостохранилища, является стабильной. 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.

Установлено, что боковые притоки и мелкие водотоки, протекающие через разные по составу рудопроявления, карьеры, отвалы пустой породы или вытекающие из подземных горных выработок Тырныаузского вольфрамомолибденового комбината, обогащаются легко растворимыми рудными элементами и при впадении в р. Баксан также загрязняют ее воды. Важно отметить, что в воде р. Баксан, при ее выходе на предгорную равнину установлены повышенные концентрации Sr, Mg, K, Se, Mo, а по W отмечено превышение ПДК в 1,3 раза.

Оценка экологических и механических рисков при последующем хранении отходов переработки, складированных в Тырныаузских хвостохранилищах позволила выделить ряд опасностей. Поверхность хвостохранилища №2 была полностью рекультивирована в 1976–1977 гг. В 2000г. был разработан карьер по добыче «инертного» материала, в результате чего был нарушен слой рекультивации, а захороненные отходы были вскрыты на всю их мощность в северной его части. Сейчас хвостохранилище продолжает оказывать воздействие на экосистему региона [17,66]. Пляжная часть хвостохранилища №3 защищена от ветровой эрозии зеркалом воды, глубиной до 6 м. Однако после частичной рекультивации «защитное» озеро разделилось на два самостоятельных водоема, один из которых дренировался

частичным стоком излишков воды по двум деривационным тоннелям в р. Баксан [17,32].

Нарушение сохранности хвостохранилищ путем частичного или полного механического разрушения «запорных» насыпных дамб также обуславливает большие экологические риски, которые могут быть вызваны рядом природных явлений: неотектонической активностью, повышенной сейсмичностью и селевой опасностью [66].

Техногенные минеральные образования оказывают значимое негативное экологическое воздействие на экосистему горнопромышленных регионов и часто имеют достаточно высокий потенциал для использования их в качестве дополнительного источника восполнения дефицита ряда стратегических полезных ископаемых. Вовлечение в промышленный передел таких объектов позволит решить целый ряд социальных, экологических и экономических задач. Однако, освоение техногенных минеральных образований сдерживается несовершенством необходимой законодательной среды, применением и неоднозначным трактованием терминологии. В связи с этим, предложено провести аудит всех имеющихся техногенных образований и ввести учет новообразованных техногенных объектов на территории нашей страны с оценкой условий и факторов, препятствующих эффективной и безопасной эксплуатации техногенных образований.

2.3. Условия и факторы, препятствующие эффективной и безопасной эксплуатации техногенных образований

Если остановиться на минерально-сырьевой стороне использования техногенных минеральных образований, то следует отметить, что геологоразведочные работы на техногенных объектах требуют значительного объема буровых работ, проведения канав, расчистки территорий и массовой аналитики, в соответствии с методикой разведки месторождений на каждый вид ценных полезных ископаемых, потенциально пригодных для извлечения.

Особые сложности возникают в случае, когда техногенные минеральные образования расположены в осложненных, с точки зрения рельефа, условиях. Так, на сегодняшний день освоение техногенных минеральных образований Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината сдерживается рядом причин [30,66]:

- топографическими условиями расположения техногенных образований в гористой местности, что требует особого подхода к обеспечению транспортной доступности и выбору параметров систем разработки техногенных объектов и транспортирования извлеченного из них техногенного сырья;

- сложной гидрогеохимией региона и необходимостью управления гидродинамическими процессами в ходе эксплуатации;

- отсутствием апробированных технических решений по извлечению тонкодисперсного обводненного техногенного сырья в охранной зоне гористой местности;

- сейсмоактивности региона складирования техногенного сырья;

- отсутствием достоверных исходных данных по сформированной структуре массива хвостохранилища Тырныаузской обогатительной фабрики и установленных закономерностей распределения содержания ценных компонентов и свойств техногенного сырья в сформированных техногенных массивах;

- необходимостью разработки решений по утилизации вторичных отходов после переработки ранее складированных хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд, особенно содержащих высоко токсичные элементы;

- целесообразностью технологического согласования мощностей и объемов переработки хвостов с объемами переработки добываемых руд после возобновления работы Эльбрусского ГОКа.

Целесообразность технологического согласования мощностей и объемов переработки хвостов с объемами переработки добываемых руд после возобновления работы Эльбрусского ГОКа должна определяться проектными решениями по доработке запасов.

В первоочередную отработку вовлекаются запасы 2015–2390 горизонта (рис. 2.3). Принята этажно-камерная система отработки, на первой очереди с закладкой выработанного пространства с высотой этажа 75 м. Запасы второй очереди принято отрабатывать системами с принудительным обрушением руды и вмещающих пород. Вскрытие запасов производится штольнями, расположенными на каждом горизонте и соединенными капитальными уклонами, рудоспуском, восстающими, вентиляционными выработками и скважинами. Целью наших исследований было рассмотрение технологических решений для первой стадии отработки месторождения, предусматривающей применение закладку выработанного пространства отработанных камер твердеющими смесями.

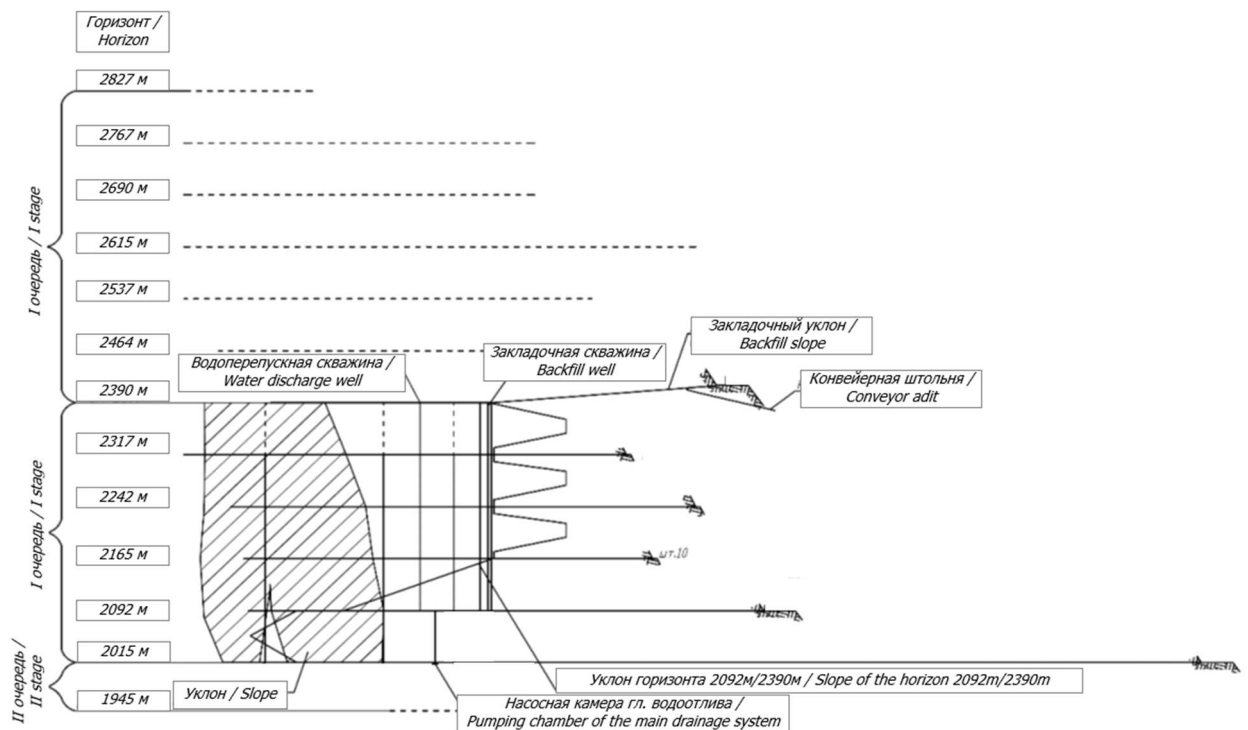


Рисунок 2. 3. Очередность вскрытия и отработки запасов I очереди

Этажно-камерные системы разработки с твердеющей закладкой с расположением камер по простиранию при мощности рудного тела 15-20м

На рисунке 2.5 представлена камерная система разработки с твердеющей закладкой с расположением камер вкрест простирания по всей мощности рудного тела, если эта мощность более 20м. Длина камер определена до 20 м. Коэффициент формы принят 20х20 м, именно от его значения и определяется нормативная прочность твердеющей закладочной смеси.

Установлены нормативы потерь и разубоживания (табл. 2.2), которые и определяют необходимость применения твердеющей закладки с заданной нормативной прочностью, чтобы сократить разубоживание руды и сократить потери руды при извлечении камерных запасов.

Таблица 2.2. Нормативы потерь и разубоживания, принятые в проекте

Наименование этажа	Балансовые запасы руды, т	Потери, %	Разубоживание, %	Эксплуатационные запасы руды, т
Этаж №1 (гор. 2015м/2092м)	5 978 279	6,36	7,66	6 055 869,6
Этаж №2 (гор. 2092м/2165м)	5 011 965,4	7,05	9,08	5 113 708,76
Этаж №3 (гор. 2165м/2241м)	5 027 262,6	7,02	9,78	5 166 135,6
Этаж №4 (гор. 2241м/2317м)	4 743 693	7,34	10,35	4 886 610
Этаж №5 (гор. 2317м/2390м)	2 933 744	7,52	9,57	2 993 660
Всего по руднику	23 694 944	7,0	9,2	24 215 983

Исходя из календарного плана отработки месторождения (табл. 2.3.) для I периода эксплуатации месторождения в течение первых 18 лет выхода рудника на проектную мощность 1500 тыс. т/год, предусмотренного в 2028 году. До 2036 года предусмотрена эксплуатация месторождения этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой, именно на этот период необходимо обеспечить нормативную прочность закладочной смеси.

Закладочные работы будут выполняться по схеме, представленной на рисунке 2.6. Закладочный комплекс расположен на отметке 2440 м. Вниз по закладочным камерам закладочные смеси будут подаваться закладочный горизонт отработанных камер.

Таблица 2.3. Календарный план отработки запасов Тырнаузского месторождения

Количество добычи в год, тыс. т.	Год эксплуатации месторождения									
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
– рудной массы	0	38,1	500	1000	1500	1500	1500	1500	1500	1500
в том числе попутная добыча		38,1	29,6	48,1	54,6	57,3	50,4	33,8	57,6	75,1
Количество добычи в год, тыс. т.	Год эксплуатации месторождения									
	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	Всего
– рудной массы	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1200	477,9	24 216,0
в том числе попутная добыча	70,2	48,7	51,6	43,2	20,4	52,1	41,3	21,8	2,8	818,1

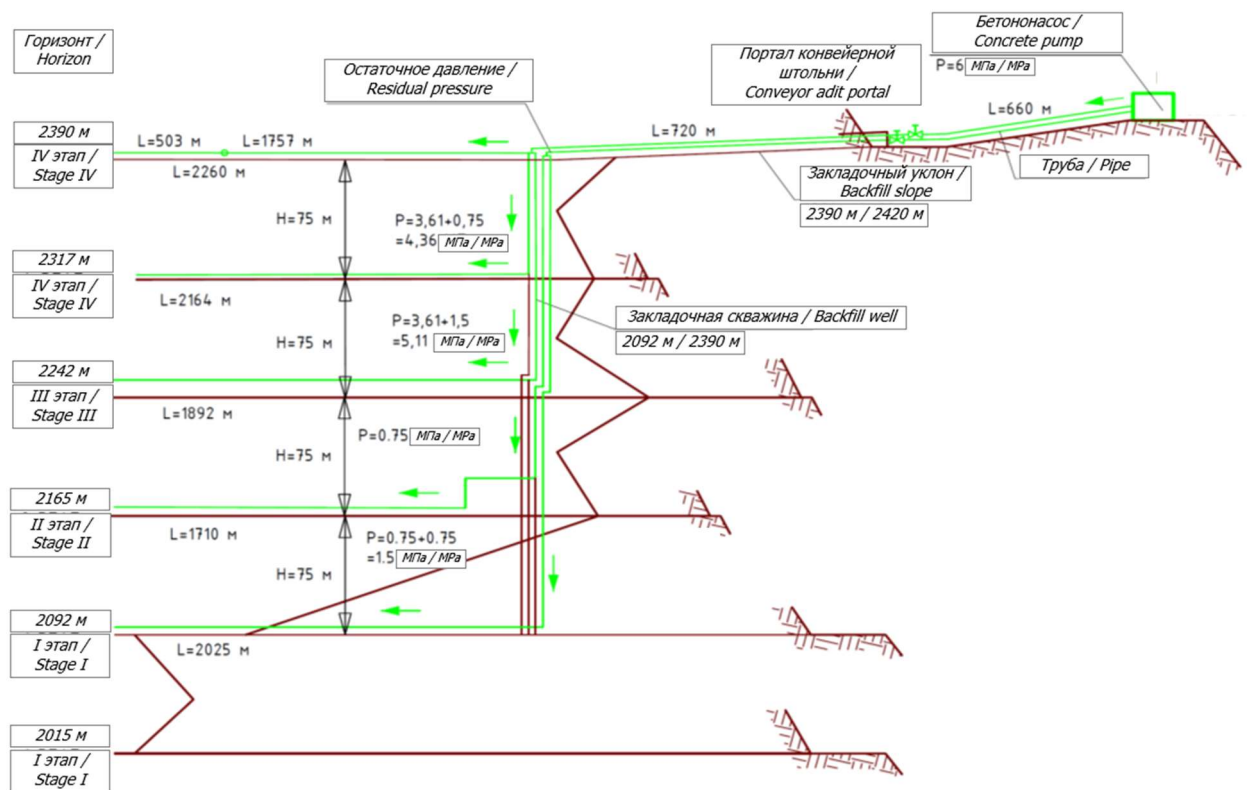


Рисунок 2. 6. Принципиальная схема транспорта закладочной смеси

Большая часть отходов горно-обогатительного производства, а именно отвалов и лежалых хвостов обогащения горных предприятий сосредоточена в местах с локальным дефицитом водных и энергетических ресурсов. В этих условиях исключено использование для рециклинга отходов вольфрамо-молибденовых предприятий самого универсального метода разделения минералов – флотации [46]. Как известно, флотационный процесс потребляет 1,5–2,5 м³ технологической воды на тонну перерабатываемого твердого сырья,

а также значительное количество химических реагентов и создает серьезные проблемы для инженерной защиты окружающей среды. Организовать полноценную очистку водной фазы хвостовой пульпы до состояния, отвечающего санитарным нормам для сброса в природную среду в условиях временных обогатительных установок в районах старых хвостохранилищ невозможно. Также практически нереально в этих условиях организовать полноценный технологический водооборот, который будет сопряжен с созданием временных гидротехнических сооружений в сочетании с системами фильтрации и кондиционирования оборотной воды.

Вместе с тем, подавляющее большинство исследований и разработок в области извлечения ценных компонентов из отходов горной промышленности проводилось с ориентацией на «мокрые» способы обогащения. Очевидно, что такие способы перспективны для действующих горно-обогатительных предприятий, имеющих флотационные мощности, гидротехнические сооружения и технологические ресурсы (вода, электроэнергия, флотационные реагенты). Однако такие разработки в определенной степени компенсируют несовершенство первоначальных технических и технологических решений, заложенных в проекты эксплуатируемых предприятий.

Поэтому для обеспечения эффективного использования техногенного минерального сырья хвостохранилищ, расположенных в сложных горно-геологических условиях, необходимо не только понимание возможностей и наличия перспективных технологий переработки техногенного сырья, обеспечивающих максимальное извлечение ценных компонентов, но и обоснование технико-технологических решений по выемке и транспортировке техногенного сырья с обеспечением промышленной безопасности ведения горных работ. В случае отсутствия продуктивной ценности техногенного сырья и непригодность его для доизвлечения ценных компонентов, необходимо оценить возможность использования отходов в рамках нормативно-правовой базы недропользования в иных целях, например, в закладке выработанного пространства открытых и подземных рудников.

2.4. Совершенствование нормативно-правовой базы недропользования в части обращения с техногенными образованиями в сейсмически активной горной местности

В настоящее время техногенные минеральные образования принято отождествлять с техногенными месторождениями. Понятие о скоплении техногенных отходов, как техногенное месторождение представлено в словаре-справочнике [66,83] При этом, следует отметить, что требования к изучению и постановке на баланс техногенных месторождений не отличается от требований, предъявляемых к природным месторождениям. Это вызывает необходимость больших временных затрат для утверждения запасов и требует неоправданных высоких затрат на геологическую разведку техногенных образований. В результате недропользователи не заинтересованы в вовлечении техногенного сырья в эксплуатацию, так как стоимость его, как правило, не высока.

Трудности практической реализации переработки отходов горной промышленности связаны с рядом причин объективного и субъективного характера. Трудности начинаются с противоречий в основополагающих документах, определяющих статус отвалов некондиционных руд, вскрышных пород и отходов обогащения в законах о недрах, об отходах производства и потребления и ряде других [74]. Из-за сложностей расчетов фактического выхода хвостов обогатительных фабрик и трудностей достоверного балансового опробования хвостовых потоков большого объема [40,86] в архивных документах даже действующих горных предприятий зачастую невозможно найти достоверных сведений о реальном содержании ценных компонентов и вредных примесей в техногенном сырье, не говоря о прочих сведениях. Что касается таких сложных геотехнологических объектов, как хвостохранилища, то оценка запасов металлов в них на основании данных систематического опробования процессов на обогатительной фабрике мало перспективна, поскольку на распределении отдельных компонентов в массиве

хвостохранилища оказывают влияние многие факторы: процессы сегрегации материала в процессе выпуска пульпы из пульпопровода и ее последующего растекания, как по глубине (высоте) хвостохранилища, так и по простиранию, окисления, выщелачивания, концентрации на определенных участках [28,41]. Из сказанного можно сделать вывод, что технологическая оценка запасов техногенных образований должна проводиться в процессе дополнительной геологической разведки с учетом условий образования (жизненного цикла) и с учетом возможных технологий обогащения складированного сырья [15,34].

В законодательной практике термин «техногенные месторождения» и требования к разработке ресурсных техногенных образований (образований) уже введены в Модельном законе «Об отходах производства и потребления» [44]. Однако термин «техногенное минеральное образование» не во всех случаях соответствует термину «техногенное месторождение» и, зачастую, усложняет процесс эксплуатации преобразованных отвалов. Кроме того, даже с позиции лингвистики оно не соответствует сути, так как место складирования отходов месту образования месторождения.

Для обоснования этого утверждения вернемся к праву собственности на добытые полезные ископаемые и отходы недропользования. Здесь возможны два варианта: добытые (извлеченные) из недр полезные ископаемые и отходы недропользования, которые либо являются, либо не являются собственностью недропользователя. Право собственности в этом случае определяется лицензией на предоставленный в пользование участок недр для добычи одного или нескольких полезных ископаемых.

На наш взгляд, к термину «Техногенное месторождение» не применимы подходы, принятые для месторождений природного происхождения в части проведения разведочных работ, оформления их результатов и выполнения процедуры постановки на государственный учет. В заблуждение вводит слово «месторождение полезных ископаемых» — наличие достаточного объема полезных ископаемых, экономически оправданного для вовлечения в эксплуатацию известными технологиями. Причем, в изначальной трактовке и

месторождение предполагает проведение всего комплекса работ по вовлечению объекта в эксплуатацию: от разведки, обоснования кондиций до постановки запасов на государственный учет и подготовки технических проектов на разработку и переработку сырья. По инерции такие же процедуры предлагаются и к собственникам «техногенных образований». В тоже время, статьей 29 Закона «О недрах» государственной экспертизе подлежат запасы полезных ископаемых на вовлеченных в пользование участках недр. Других объектов проведения государственной экспертизы запасов Законом «О недрах» не предусмотрено.

Требования, не соответствующие Закону «О недрах», законодательными актами (ст. 23 и 24 Конституции Российской Федерации, ст.12 ГК) трактуются как недопустимое вмешательство в хозяйственную деятельность юридических лиц, в рассматриваемом случае – недропользователя.

Чтобы избежать применения неоднозначного и противоречивого трактования, необходимо отказаться от термина «Техногенное месторождение». Правильнее принимать понятие техногенное минеральное образование – скопление на земной поверхности или в недрах отходов горнодобывающей, перерабатывающей или иной деятельности, являющихся собственностью действующего недропользователя, либо иного лица, во владении которого находится данный техногенный объект.

И только для отходов, не находящихся в собственности недропользователя, по сути, «бесхозных», термин «Техногенное месторождение» может быть все-таки применен после подтверждения установленных признаков месторождения со всеми вытекающими признаками технической и технологической реализуемости проекта и экологической эффективности с выполнением геологоразведочных работ, утверждением кондиций и запасов, постановкой их на учет, подготовкой всей необходимой проектной технической документацией. В этом случае потенциальный владелец техногенного объекта должен получить право пользования техногенным образованием предположительно в виде лицензии на его

разведку и добычу. Однако такого требования Законом «О недрах» в настоящее время не зафиксировано.

Разведку скопления собственных отходов и их разработку действующий пользователь недр вправе проводить по своему усмотрению, но это право часто оспаривается и не гарантирует лицу, осуществляющему за свой счет геологоразведочные работы приобретенного для эксплуатации техногенного объекта. Все это требует внесения поправок в нормативно-правовые акты.

Отходы недропользования, представленные вскрышными и вмещающими породами, хвостами обогащения и шламами, шлаками первичной переработки минерального сырья, могут находиться в собственности недропользователя, либо владельца земельного участка, как правило, при отсутствии действующего недропользователя.

Это представитель местной, федеральной или региональной власти. На рисунке 2.7. систематизированы виды отходов недропользования и принятый порядок действий с ними.

В случае, если техногенный объект находится на балансе недропользователя, вся информация об отходах имеется в геолого-маркшейдерской документации и в виде ежегодных форм статистической отчетности передается в фонды геологических сведений. В случае, если техногенное минеральное образование не стоит на балансе недропользователя, информация о нем сохранена в геологических фондах, куда должна быть сдана геолого-маркшейдерская документация ликвидированных в установленном порядке горных предприятий. Стоит отметить, что документация по техногенным минеральным образованиям, вынуждено закрытых или заброшенных горных предприятий, часто не сохранена.

В Геологических фондах эта информация относится к предприятиям, но не к объектам недропользования, т. е. не прикреплена к месторождениям. Немаловажно, что эта информация не систематизирована по регионам, не привязана к месту нахождения недропользователя или владельца земельного участка. К видам полезных ископаемых и/или виду и содержанию ценных

компонентов, запасам минерального сырья и распределения ценности, содержащейся в них минеральных ресурсов.

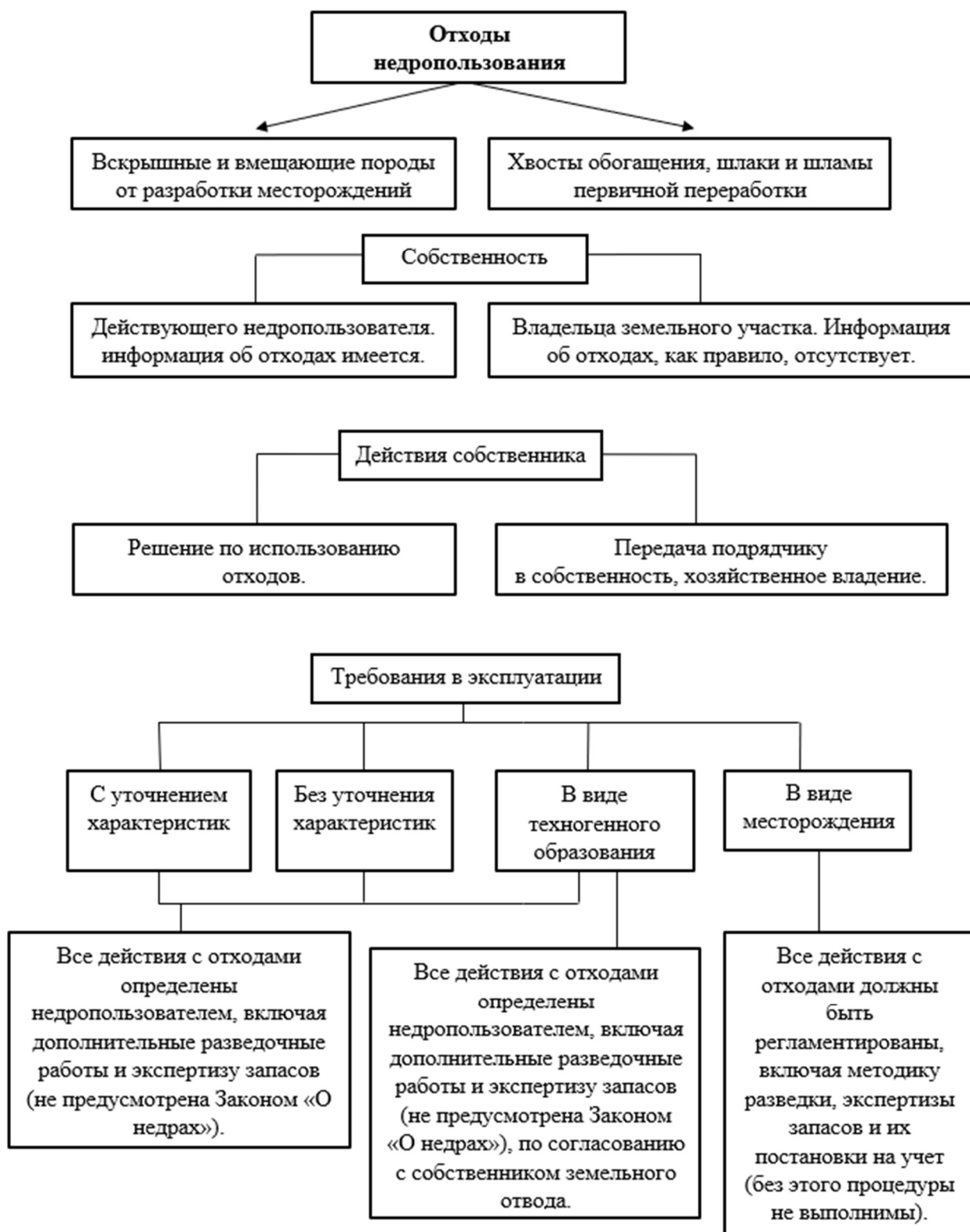


Рисунок 2. 7. Структура отходов недропользования и алгоритм управления ими [50]

В связи с этим, предлагается ввести аудит техногенных георесурсов для сбора информации и дальнейшего учета складированного техногенного сырья, что требует решения следующих задач:

- сбор первичной информации о показателях действующих горно-перерабатывающих предприятий во всех регионах отрасли в части размещения и хранения отходов добычи и переработки полезных ископаемых;

- уточнение информации о скоплениях минеральных веществ и ценных компонентов на действующих горно-перерабатывающих предприятиях по всем регионам;

- уточнение информации о техногенных минеральных образованиях на территории областей (регионов), находящихся в ведении бюджетов различного уровня;

- систематизация информации о скоплениях техногенных минеральных веществ на территории России;

- оценка продуктивной ценности техногенных образований с обоснованием перспектив их вовлечения в промышленную эксплуатацию;

- оценка экологического воздействия техногенных образований на среду обитания в горнопромышленных регионах с определением степени и уровня рисков экологических катастроф;

- разработка инновационных технологий по эффективному вовлечению техногенных образований в промышленную эксплуатацию;

- принятие решения по обезвреживанию, рекультивации территории, ликвидации техногенного объекта.

Полученную в результате обследования информацию следует заносить в специальную единую базу данных о скоплениях минеральных веществ как в условиях действующих горно-перерабатывающих предприятий, так и о «безхозных» объектах на территории собственника земельного участка.

В первом случае необходимо установление в системе учета:

- названия техногенного объекта, № лицензии;

- вида основного и попутных полезных ископаемых и компонентов;
- количества балансовых, забалансовых и некондиционных по содержанию ценных компонентов;

количества отвальных масс и отходов, которые требуют утилизации или специального складирования путем ликвидации техногенного образования.

В случае систематизации информации о техногенных образованиях минерального вещества, не находящихся на балансе недропользователя, следует учитывать:

- название ранее отработанного базового месторождения;
- наименование основных полезных ископаемых и сопутствующих компонентов;
- количество отходов в хранилищах, содержание в них ценных компонентов, долю вмещающих и вскрышных пород;
- объем хвостохранилищ и содержание в них ценных элементов;
- состояние и описание техногенных объектов, их объем, занимаемую площадь отчужденных земель;
- предложения и рекомендации по использованию техногенных объектов.

В целях дополнительного получения недостающих данных по техногенным минеральным образованиям, определения перспектив и дальнейших направлений использования минерального сырья требуется проведение комплекса работ по геологическому изучению и эколого-экономической оценке состава и свойств складированных отходов.

Сформированная в результате систематизации и учета техногенных минеральных образований базу с единовременным формированием единой информационной системы и ее правильное применение будет способствовать укреплению минерально-сырьевой базы горнодобывающих регионов и страны в целом.

Выводы по 2 главе

1. Генетический тип месторождений, характеризующихся общими 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 переработки руд и, тем самым, технологический тип и состав техногенного минерального образования. Предложен вариант промышленной классификация техногенных минеральных образований, относящихся к отходам обогащения молибденовых и вольфрамовых руд различных генетических типов на основе классификационного признака – технологического типа техногенных минеральных образований, зависящих от природного типа перерабатываемых руд и особенностей складирования.

2. Для обеспечения эффективного использования техногенного минерального сырья, представленного в хвостохранилищах, расположенных в сложных горно-геологических условиях, необходимо не только понимание возможностей и наличия перспективных технологий переработки техногенного сырья, обеспечивающих максимальное извлечение ценных компонентов, но и обоснование технико-технологических решений по выемке и транспортировке техногенного сырья с обеспечением промышленной безопасности ведения горных работ.

3. На пастбищах в районе поселка Былым ситуация в отношении элементов, которые могут быть привнесены из материала хвостохранилища, также является стабильной. Отмечены единичные случаи с «ураганными» содержаниями молибдена, вольфрама и олова, также 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. Установлено, что боковые притоки и мелкие водотоки, протекающие через разные по составу рудопроявления, карьеры, отвалы пустой породы или вытекающие из подземных горных выработок Тырныаузского вольфрамомолибденового комбината, обогащаются легко растворимыми рудными элементами и при впадении в р. Баксан также загрязняют ее воды. Важно отметить, что в воде р. Баксан, при ее выходе на предгорную равнину установлены повышенные концентрации Sr, Mg, K, Se, Mo, а по W отмечено превышение ПДК в 1,3 раза.

5. Перспективы восстановления разработки Тырныаузского месторождения подземных способом обуславливает необходимость проведения исследований по оценке возможности доизвлечения ценных компонентов из хвостов обогащения Тырныаузской обогатительной фабрики с последующим использованием лежалых хвостов в закладке выработанного пространства подземных камер Эльбрусского рудника.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЙ РЕЦИКЛИНГА И ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ТЫРНЫАУЗСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

3.1. Изучение условий складирования, хранения, объемов накопления отходов в техногенных образованиях Тырнаузского района

Техногенные образования, сформированные при отработке Тырнаузского месторождения, имеют существенные отличия, связанные с уникальностью базового месторождения, условий его эксплуатации. За годы работы карьеров Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината с 1970 по 1993 гг. было отработано 189.4 млн м³ вскрышных пород, в составе которых содержатся также забалансовые, некондиционные руды. Кроме того, при переработке руд сформировано порядка 68 млн м³ хвостов обогащения руд. Эти хвосты обогащения складированы в трех хвостохранилищах Тырнаузской обогатительной фабрики, описанных во второй главе настоящей диссертации.

В период формирования хвостохранилищ в них подавались отходы обогащения, полученные в результате переработки руд флотационными и химическими процессами [96]. Несмотря на достаточно высокие содержания компонентов в составе природных руд, на товарную продукцию приходилось всего 0.5 % от общего объема переработки рудной массы, а отходы обогащения, поступающие в виде пульпы из обогатительной фабрики в хвостохранилище, составляли 99.5%. Всего за время существования Тырнаузского комбината с 1940 года хвосты обогащения складировались в трёх местах.

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. Так как хранилище №1 в настоящее время

полностью рекультивировано, а хранилище №3 после проведения работ по гидроизоляции техногенного сырья затоплено 40-метровым слоем воды и используется для разведения рыбы в качестве зоны отдыха. Регулярное наблюдение за составом соды и состоянием хвостохранилища свидетельствует о сохранности природоохраненных территорий.

Перед началом исследования вещественного состава и свойств техногенного сырья для оценки возможности его вовлечения были изучены архивные данные о запасах хвостохранилища №2, а также об исследованиях вещественного состава хвостов, представленных в хвостохранилище.

На основе результатов выполненных исследований данные по оценке запасов, представленные в отчетных документах Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (табл. 3.1) и данные предприятий «Эльбрусстрой» с ЗАО «Артель старателей «Чайбуха»» (табл. 3.2), выявили существенные качественные и количественные расхождения. Расхождение между данными объясняется гравитационным распределением полезных компонентов при формировании хвостохранилища.

Таблица 3.1. Запасы полезных компонентов в хвостохранилище №2 по отчетным материалам Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината

№ п/п	Наименование компонентов	Содержание в г/т	Объем хвостов в млн т	Запасы в т
1.	Трехокиси вольфрама	460	26	12282
2.	Молибден	250	26	6675
3.	Висмут	0,1	26	2,6
4.	Золото	0,25	26	6,68

Таблица 3.2. Результаты оценки запасов хвостохранилища №2 по материалам «Эльбрусстрой» с ЗАО «Артель старателей «Чайбуха»»

№ п/п	Наименование компонентов	Содержание в г/т	Объем хвостов в млн т	Запасы в тоннах
1.	Трехокиси вольфрама	660	26	17160
2.	Молибден	180	26	4680
3.	Висмут	33	26	858
4.	Золото	0,1	26	2,6

Тырныаузский вольфрам-молибденовый комбинат представил материалы по сведениям, полученным с обогатительной фабрики при сбросе хвостов в хвостохранилище. В исследованиях «Эльбрусстрой» и ЗАО «Артель старателей «Чайбуха»» были проанализированы пробы, взятые уже после сегрегации сырья в массиве хвостохранилища. В процессе сегрегации тяжелые элементы и твердые минералы накапливались во внешней зоне хвостов, а легкие и мягкие минералы мигрировали с мелкой фракцией в Северо-Западную и Центральную части хвостохранилища.

По результатам исследования вещественного состава хвостов из хвостохранилища №2 (табл. 3.3), отобранных в лажной и прудковой зоне определено преобладание силикатной составляющей, что обусловлено первичными минеральными характеристиками вольфрам-молибденовых руд Тырныаузского месторождения. Причем, составы хвостов из различных зон в целом схожи, однако в хвостах из прудковой зоны отмечено небольшое преобладание CaO, что может благоприятно влиять на закладочные свойства при использовании хвостов обогащения в составе закладочного материала.

Таблица 3.3. Результаты исследования вещественного состава хвостов из хвостохранилища №2, %

	ппп	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Сумма	W
Прудковая зона	3,02	59,00	9,12	9,18	17,12	1,99	0,39	98,82	10,5
Пляжная зона	2,70	59,25	9,84	9,38	15,32	1,77	0,37	98,63	6,0

Анализ данных, полученных в ходе исследований Института стекла, ИГЕМа и ВНИИХТа, о содержаниях цветных, черных, благородных и редких металлов в техногенном сырье хвостохранилища №2 Тырныаузского вольфрам-молибденового комбината (табл. 3.4.) подтвердил многокомпонентный состав техногенного сырья с присутствием весьма незначительного количества вредных примесей в виде мышьяка и фосфора,

содержание основных компонентов – вольфрама и молибдена – также небольшое.

Таблица 3.4. Содержания цветных, черных, благородных и редких металлов в техногенном сырье хвостохранилища №2 Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината, %

№ №	Наименование элементов	Организации с		
		Институт стекла	ИГЕМ	ВНИИХТ
1.	Алюминий	3.79		3.7
2.	Железо	4.26	5.44	3.0
3.	Кальций	5.60	8.00	9.2
4.	Калий	0.07		0.02
5.	Магний	0.85		0.02
6.	Натрий	0.89		2.3
7.	Марганец	0.39		0.02
8.	Бор	0.01		
9.	Барий	0.007	0.0095	
10.	Мышьяк	0.09	0.075	
11.	Кобальт	0.003	0.001	0.003
12.	Хром	0.009	0.005	
13.	Медь	0.004		0.006
14.	Ниобий	0.005		
15.	Никель	0.008		0.007
16.	Фосфор	0.087		
17.	Рубидий	0.014	0.006	
18.	Стронций	0.019	0.020	
19.	Титан	0.024		0.02
20.	Ванадий	0.095		0.02
21.	Вольфрам	0.040	0.044	0.040
22.	Олово	0.018		0.020
23.	Цинк	0.023	0.029	0.02
24.	Цирконий	0.003	0.007	
25.	Золото	0.19 г/т	0.19 г/т	0.19 г/т
26.	Серебро	0.4 г/т	0.4 г/т	
27.	Висмут	0.001		
28.	Кадмий	0.001		
29.	Ртуть	0.001		
30.	Индий	0.001		
31.	Сурьма	0.001	0.0015	
32.	Селен	0.001	0.001	

№ №	Наименование элементов	Организации с		
		Институт стекла	ИГЕМ	ВНИИХТ
33.	Тантал	0.001	0.002	
34.	Теллур	0.001		
35.	Скандий		0.001	
36.	Молибден	0.014	0.02	0.02
37.	Цезий			0.047
38.	Лантан			0.0012
39.	Церий			0.0023
40.	Европий			0.0007
41.	Иттербий			0.0012
42.	Лютеций			0.00028
43.	Гафний			0.0019
44.	Технеций			0.005
45.	Уран			0.0099
46.	Кремний	29.0	28.0	27.6
47.	Свинец			0.02
48.	Рений	0.001	0.001	

Однако, комплексный анализ руд свидетельствует о необходимости исследования перспектив извлечения в гидрометаллургическом процессе драгоценных металлов, в первую очередь золота, и редких металлов и редкоземельных элементов – рения, европия, технеция и других, цена на которые на мировом рынке постоянно растет.

В этой связи прежде, чем приступить к утилизации хвостов необходимо более детально изучить вещественный состав техногенного сырья и оценить возможности промышленного использования хвостов обогащения вольфрам-молибденовых руд.

3.2. Исследование вещественного состава и структуры лежалого в хвостохранилищах техногенного сырья

Исследования проб хвостов, отобранных в прудковой и пляжной зонах (рис. 3.1) техногенного образования проводилось для оценки перспектив разработки хвостохранилища №2 с целью изучения возможности

доизвлечения ценных компонентов из складированного техногенного сырья. Для этого в лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН и исследовательской лаборатории в сфере недропользования ООО «ГеоГенезис» был проведен анализ вещественного состава лежалых хвостов (табл. 3.5 и 3.6).



Рисунок 3.1. Вид сверху оконтуренного хвостохранилища №2 с нанесением направления намыва хвостов при складировании (направление намыва от юго-восточной дамбы (пляжная зона) на северо-запад (прудовая зона))

Несмотря на незначительные расхождения в данных оценки по содержанию отдельных химических соединений в хвостах обогащения руд Тырнаузского месторождения, результаты исследования показали на преобладание в них окислов кремния, кальция, алюминия и железа. Это указывает на возможность получения при обжиге гидроизоляционных материалов, использования отходов переработки техногенного сырья при производстве керамической плитки, а также в закладке выработанного пространства подземных камер при доработке запасов Тырнаузского месторождения.

Результаты предшествующих исследований, проведенных в лабораториях Института стекла, ИГЕМа и ВНИИХТа, указывают на присутствие определенного содержания в хвостах вольфрама и молибдена, редкоземельных элементов, что предопределяет необходимость оценки возможности использования лежалых хвостов Тырнаузской обогатительной фабрики для доизвлечения ценных компонентов.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что в хвостах обогащения содержится около 30% магнитной фракции, поэтому для оценки возможностей и перспектив использования лежалых хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд были отобраны пробы с высотных отметок хвостохранилища №2 1240 м (прудовая зона) и 1335 м (пляжная зона) для разделения на магнитную и немагнитную фракции и последующего исследования химического состава магнитной и немагнитной фракций для оценки целесообразности выделения магнитных материалов перед использованием техногенного сырья в составе закладочных материалов.

В результате магнитного анализа проб с прудковой зоны установлено, что доля магнитной фракции составляет лишь 10,58%, а в пробах с пляжной зоны содержание магнитных минералов еще ниже – 7,31 %. Последующее выделение магнитной фракции из немагнитного остатка методом электромагнитной сепарации позволило выделить еще 3,95 % из пробы, отобранной из прудковой части и 3,56 % из пробы, отобранной из пляжной зоны.

Таким образом, в результате выделения магнитной фракции из проб прудковой и пляжной зон выделено всего 14 % и 10,6 %, соответственно, что в два и три раза ниже, чем было установлено в ходе ранних исследований иных организаций. Очевидно, что изменение свойств хвостов в процессе хранения в течение более 30 лет является важным фактором, не требующим выделения магнитной фракции для учета этой составляющей для доизвлечения ценных компонентов из хвостов обогащения и оценки последующего приготовления на их основе закладочных смесей.

После выделения магнитной и немагнитной фракций в каждой из пробы был проведен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) для нескольких проб:

- исходной пробы;
- магнитной фракции после магнитного разделения пробы с помощью неодимового магнита;
- электромагнитной фракции после электромагнитной сепарации хвостов после отделения магнитной фракции после магнитного разделения пробы с помощью неодимового магнита;
- хвостов после электромагнитной сепарации.

Пример результата исследования проб хвостов методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) представлен на рисунке 3.2. и в таблице 3.5.

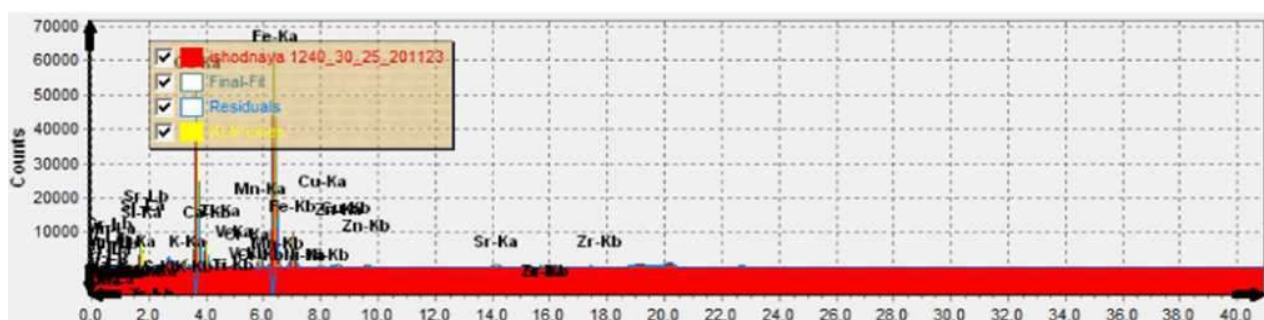


Рисунок 3.2. Пример результата рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) проб, отобранных из хранилища №2

Сводные результаты РФА исходных проб с выделением в них магнитных и немагнитных фракций представлены в таблице 3.6.

Для исследования гранулометрического состава также были отобраны пробы лежалых хвостов из прудковой и пляжной частей хвостохранилища (см. рис.3.1).

В ходе анализа гранулометрического состава хвостов Тырнаузской обогатительной фабрики, отобранных из пляжной и прудковой зон хвостохранилища №2 установлено:

- в пробах, отобранных в прудковой зоне, выход по классам составил: +2 мм – 0,01%, -2+1 мм – 1,17%, -1+0,5 мм – 1,44%, -0,5+0,25 мм – 7,32%, -

0,25+0,125 мм – 29,67%, -0,125+0,1 мм – 8,65%, -0,1+0,071 мм – 12,79%, -0,071+0,063 мм – 7,34%, -0,063+0,045 мм – 8,69%, -0,045+0 мм – 22,92%.

– в пробах, отобранных в пляжной зоне, выход по классам составил: +2 мм – 1,73%, -2+1 мм – 2,57%, -1+0,5 мм – 1,97%, -0,5+0,25 мм – 4,89%, -0,25+0,125 мм – 26,18%, -0,125+0,1 мм – 14,33%, -0,1+0,071 мм – 11,97%, -0,071+0,063 мм – 8,87%, -0,063+0,045 мм – 10,30%, -0,045+0 мм – 17,20%.

Исследование гранулометрического состава лежалых хвостов показало, что они представлены преимущественно тонко-мелкозернистой фракцией – 30 % фракции класса -0,25+0,125 мм (рис. 3.3).

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 вольфрамо-молибденовых руд на Эльбрусском ГОКе.

Таблица 3.5. Результаты поэлементного рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) проб хвостов обогащения Тырнаузской обогатительной фабрики из хранилища №2

Concise Analysis:				
Элемент	Line	Intensity	Cone.	Units
Al	Ka	25.160	8.138	wt.%
Si	Ka	674.720	51.831	wt.%
S	Ka	23.810	0.443	wt.%
K	Ka	181.910	1.242	wt.%
Ca	Ka	5358.980	25.669	wt.%
Ti	Ka	113.060	0.395	wt.%
V	Ka	14.750	0.039	wt.%
Cr	Ka	10.870	0.022	wt.%
Mn	Ka	470.920	0.807	wt.%
Fe	Ka	7612.420	11.080	wt.%
Ni	Ka	4.940	0.007	wt.%
Cu	Ka	52.890	0.063	wt.%
Zn	Ka	90.540	0.097	wt.%
Sr	Ka	111.170	0.116	wt.%
Zr	Ka	42.500	0.052	wt.%
Всего:			100.000	

Таблица 3.6. Результаты исследования элементного состава образцов методом рентгенофлуоресцентного анализа, выполненного в лаборатории ООО «ГеоГенезис»

Элемент	Содержание, %							
	Прудковая зона				Пляжная зона			
	Исходная	Магнитная	Электро-магнитная	Хвост после электромагнитной сепарации	Исходная	Магнитная	Электро-магнитная	Хвост после электромагнитной сепарации
Si	51,831	45,549	40,669	49,980	50,732	45,214	44,440	50,893
Ca	25,669	25,786	26,972	26,942	25,646	24,189	24,900	25,603
Fe	11,080	17,193	18,669	11,152	10,948	18,585	17,242	10,799
Al	8,138	7,949	7,373	8,213	9,018	8,328	8,340	9,187
K	1,242	0,925	1,135	1,237	1,582	1,070	1,434	1,502
Mn	0,806	1,320	1,081	0,816	0,743	1,334	1,031	0,770
S	0,443	0,529	2,217	0,840	0,491	0,526	0,959	0,419
Ti	0,395	0,372	0,647	0,409	0,450	0,414	0,703	0,435
Sr	0,116	0,071	0,108	0,120	0,122	0,061	0,102	0,115
Zn	0,097	0,141	0,111	0,100	0,094	0,132	0,108	0,099
Cu	0,063	0,058	0,067	0,062	0,064	0,057	0,074	0,062
Zr	0,052	0,037	0,054	0,058	0,053	0,028	0,047	0,047
V	0,039	0,036	0,048	0,033	0,027	0,030	0,053	0,035
Cr	0,022	0,027	0,646	0,031	0,024	0,030	0,425	0,028
Ni	0,007	0,007	0,203	0,007	0,006	0,002	0,142	0,006

*Анализ образцов выполнен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с диапазоном определяемых элементов от Na до U с нижним пределом обнаружения элементов > 0.001%.

Обнаруженные элементы могут быть в форме оксидов, карбонатов, нитридов, фторидов и т.д.!!!
(т.к. элементы до Na не идентифицируются).



Рисунок 3.3. Диаграмма распределения классов крупности хвостов обогащения из хранилища №2

Определение истинной плотности минерального сырья проводилось пикнометрическим способом. Истинная плотность исследуемых образцов, отобранных в прудковой зоне, составила 2770 кг/м³, в пляжной – 2790 кг/м³.

В ходе минералогических исследований хвостов хранилища № 2 установлено, что главными рудными минералами отвальных хвостов являются шеелит (CaWO₄), молибденит (MoS₂), молибденошеелит (CaMo₂+CaWO₄). В качестве попутных минералов выделены пирротин, сфалерит, пирит, халькопирит, магнетит, гематит, ильменит, арсенопирит, галенит.

При анализе породообразующих минералов установлено наличие следующих компонентов: пироксен, гранат, плагиоклаз, кварц, кальцит, флюорит, амфибол, тальк, биотит.

Ввиду того, что при складировании хвостов происходило гравитационное разделение минералов, тяжелые материалы накопились преимущественно под дамбочкам обвалования во внешней зоне, где размеры зерен в среднем составляют 0,5–1 мм и по объёму в общей массе сырья доля частиц этой фракции составляет около 60 %. Анализ выявил:

– около 4 % от общей массы лежалых хвостов представлено магнетитом, гематитом, пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, металлической стружкой в виде платиноидов и золота⁴

– электромагнитная фракция представлена: пироксеном, гранатом, тальком, биотитом. Основная масса – это гранат и пироксен – 50% (30% от общей массы). Тонко измельченный амфибол, тальк и биотит имеющие пластинчатую и игольчатую структуры сконцентрированы в глубине хвостохранилища;

– тяжелая фракция представлена следующими минералами: шеелит, молибдошеелит, молибденит, галенит, частично халькопирит, самородное золото, серебро, теллуриды висмута, ильменит составляет около 8% (5% от общей массы, с которой связана основная масса золота);

– мелкая (легкая) фракция: кальцит, кварц, флюорит, амфибол, тальк, биотит, плагиоклаз – представляет около 40% от общей массы.

Таким образом, основными ценными компонентами являются: гранат и пироксен, которые отложились на дамбах обвалования во внешней зоне. Гранат может быть использован как абразивный материал, пироксен – как платиноносный материал.

Таким образом, результаты выполнения исследований свидетельствуют о заметной доле в изученных пробах фракций, по размеру крупнее флотационного класса +0.078, составляющего 20–30 % общей массы, с чем возможно связано недоизвлечение ценных компонентов из шеелита и молибдошеелита, а также некоторых других рудных минералов, оказавшихся в тонких сростках с нерудными минералами с относительно высокой твердостью, среди которых преобладают гранат, пироксен и кварц.

Кроме того, в крупной фракции могут оказаться частицы шеелита и молибдошеелита с критической массой, ограничивающей возможность флотации этих минералов с высокой плотностью – 4000 кг/м³. С другой стороны, в составе самых тонких фракций (<0.01 мм) должны находиться мельчайшие и переизмельченные частицы наименее твердых минералов, в том

числе дисперсные слоистые силикаты (глины, слюда, хлорит), рудные минералы: молибдена (молибденит, повеллит, ферримолибдит) и висмута (висмут самородный, теллуриды и висмутовые сульфосоли висмута).

Таким образом, несмотря на анализ результатов исследования различных организаций и научных институтов, проведенные в лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН и исследовательской лаборатории в сфере недропользования ООО «ГеоГенезис» исследования лежалых хвостов обогащения, отобранных из прудковой и пляжной зон, свидетельствуют о нецелесообразности доизвлечения ценных компонентов из лежалых хвостов, что определяет важность исследования возможности использования их в составе закладочных смесей.

Однако, для принятия решения о бесперспективности использования лежалых хвостов для доизвлечения ценных компонентов были проведены исследования обогатимости хвостов обогащения с целью исключения возможности эффективного доизвлечения ценных компонентов.

3.3. Исследование процессов извлечения ценных компонентов из лежалых хвостов обогащения Тырнаузского месторождения

Для изученных проб лежалых хвостов хвостохранилища №2 предварительно было проведено выделение тяжелой и легкой фракций. Методика проведения исследований предусматривала мокрый рассев хвостов на виброгрохоте с получением гранулометрических классов: +0.5 мм; -0.5+0.25 мм; -0.25+0.09 мм; -0,09+0.045 мм; -0.045 мм с последующим фракционированием минералов в каждом классе по физическим свойствам. Легкую фракцию отделяли в бромформе с плотностью 2900 кг/м³. Тяжелую фракцию делили методом магнитной сепарации на магнитную, сильноэлектромагнитную, слабоэлектромагнитную и немагнитную фракции.

Такое разделение позволило выявить фракции, наиболее перспективные для доизвлечения металлов. Анализ химического состава был выполнен

рентгенофлюоресцентным методом. Результаты исследования вещественного состава техногенного сырья представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Содержание элементов (г/т) в лежалых хвостах обогащения руд Тырнаузского месторождения, разделенным по магнитным и немагнитным фракциям, по данным рентгенофлюоресцентного анализа

Пробы*	Mo	W	Pb	Au	Se	As	Hg	Zn	Cu	Ni	Sn	Cr	V	Sc	S
2х	56	208	13	6,04	2,6	41,2	15,0	238	28	15	22	45,7	63	322	-
2х.2. 2	94	273	22	-	6,2	186,0	44,0	522	82	-	59	50,9	99	622	-
2х.3. 2	44	213	4	-	3,2	27,8	37,6	708	55	74	32	27,02	58	328	-
2х.3. 3	71	251	16	-	5,1	30,3	26,7	474	39	18	163	45,71	79	511	702
2х.4. 4	53	429	5	-	7,1	30,4	26,5	450	193	18	20	55,93	72	417	430

*2х – неразделенная тяжелая фракция хвостохранилища №2; 2.2 – сильно эл.магн., 3.2 – ср.эл.магн., 3.3 – слабо эл.магн., 4.4 – не эл. магн фракции

** «-» - н.п.о.

Сравнительное рассмотрение содержания рудных компонентов в тяжелых фракциях техногенного сырья хвостохранилища №2 показало, что содержания таких элементов, как вольфрам, золото, ртуть никель и олово, выше, чем содержание молибдена, мышьяка, меди и серы.

При рассмотрении разделенных методом магнитной сепарации тяжелых фракций техногенного сырья отчетливо проявляется резкое обогащение молибденом сильно-электромагнитной фракции, вольфрамом – немагнитной фракции хвостов хвостохранилища №2. С учетом того, что доля магнитной фракции из проб прудковой и пляжной зон составляет 14 % и 10,6 %, соответственно, очевидно, что выделение молибдена не является целесообразным.

Для оценки перспектив и целесообразности извлечения из хвостов выявленных элементов проводились исследования обогатимости хвостов: технологические испытания гравитационным и флотационным способами.

Проба весом около 11 тонн отбиралась из 3-х забоев погрузчиком на глубину до 5 м от поверхности. Ковш погрузчика снимал слой материала по

вертикали снизу вверх. Без сомнения, в процессе складирования хвостов и за время их хранения происходила миграция тонких фракций за счет промывки водой и осадками. Так, ситовая характеристика лежалых хвостов в пробе была значительно крупнее, чем хвостов, поступающих с обогатительной фабрики в 50–60 гг. прошлого века. Этот факт, а также принцип намыва хвостовых дамб, свидетельствует о том, что в нижней и центральной части хвостохранилища № 2 сосредоточен более тонкий материал.

Результаты анализа содержания ценных компонентов в исходной пробе хвостов представлены в таблице 3.8. Низкое содержание большинства ценных элементов в пробе частично объясняются малым содержанием тонкой фракции, в которой в основном сосредоточены цветные и драгоценные металлы.

Таблица 3.8. Результаты анализа исходной пробы хвостов, отобранных из хвостохранилища №2

Элементы	Содержание
Вольфрам, %	0,035-0,045
Молибден, %	0,015-0,02
Железо, %	2,8
Медь, %	0,05
Сера, %	0,16
Золото, г/т	0,1-0,15
Серебро, г/т	0,2-0,3
Рений, г/т	0,4

Минеральный анализ показал, что суммарное содержание полезных компонентов составляет менее 1%. Определены единичные зерна следующих минералов: пирита, пирротина, молибденита, шеелита, халькопирита. Кроме того, в процессе исследования в отдельных продуктах установлены незначительные превышения концентрации драгметаллов и рения.

Таким образом, экономический интерес может представлять изучение технологий извлечения следующих металлов: вольфрама, золота, молибдена, платины и рения. Вольфрам представлен шеелитом. Золото частично

свободно, частично находится в пирите. Платина преимущественно сосредоточена в пирротине. Молибден представлен молибденитом, в котором содержится незначительное количество рения. Однако низкие содержания и продолжительное хранение такого сырья сопровождалось снижением качества, что не позволяет осуществить эффективное доизвлечение ценных компонентов из лежалых хвостов обогащения руд Тырнаузского вольфрамо-молибденового месторождения и указывает на возможность использования техногенного сырья в качестве закладочного материала.

С учетом низкого содержания в хвостах обогащения ценных компонентов установлено, что возможности гравитационного обогащения ограничены. Установка по извлечению тонкой фракции должна быть по возможности наиболее простой и дешевой. Поэтому испытания проводились в двух направлениях:

- оценка принципиальной возможности применения гравитации для переработки хвостов на концентрационном столе;
- укрупненные испытания на циклонной установке для первичной концентрации тяжелых металлов, разработанной по типу установки для переработки карьерных песков.

Отобранная на хвостохранилище проба в количестве 10 т была пропущена через циклонную установку. Значительную трудность при подаче материала создавали куски глины, размером до 500 мм, образовавшиеся в результате вторичных процессов минералообразования, возможно за счет воздействия использованных в процессе обогащения реагентов. Они почти не размывались водой и их отбраковывали. Не исключено, что именно в глине возможна концентрация шламистого золота, но его извлечение весьма проблематично.

На установке при выходе тяжелой фракции 10%, получен продукт содержащий – 0,08%–0,1% вольфрама и 0,2–0,3 г/т золота. Извлечение этих компонентов не превысило 40%. Отмечено высокое извлечение крупных

сульфидных частиц, содержащих пирротин, включающих незначительное количество платины. Молибденит в основном ушел в слив. Отсюда следует, что данный технологический прием целесообразен только для извлечения железных сульфидов, но он не позволяет сбросить в отвал и исключить из дальнейшей переработки легкую фракцию.

Поэтому было принято решение о проведении дополнительных опытов по обогащению исходных песков на концентрационном столе для оценки принципиальной возможности извлечения тяжелых металлов гравитационными аппаратами. Установлено, что доизвлечение золота и вольфрама на уровне 60–75% в данных условиях можно получить только при выходе тяжелой фракции не менее 15%; при снижении выхода до 7–8%, извлечение резко падает до 30–35%. Таким образом, принцип гравитационного обогащения для данного материала не применим. По-видимому, обработка при флотации руды на фабрике олеиновой кислотой и жидким стеклом в значительной мере изменила поверхностные свойства минералов, и они, несмотря на высокую плотность, попадали в легкую фракцию. Кроме того, молибденит, сульфиды и шеелит методом флотации извлекаются в приоритетном порядке. Для извлечения только свободного золота из хвостов гравитационный цикл явно неперспективен.

Поисковые исследования по флотации отвальных хвостов позволили сконструировать схему обогащения, основанную на последовательной селективной флотации сульфидов и шеелита.

Доказано, что прямая флотация хвостов олеином в содовой среде в принципе возможна с полным извлечением всех полезных компонентов, при этом извлечение молибдена и вольфрама составит 75–80%. Однако последующее разделение на металлы флотацией весьма затруднительно. Поэтому дальнейшие технологические исследования проводились по схеме прямой селективной флотации. Были обработаны схемы обогащения и режимы основного цикла флотации, которые в последующем были

максимально упрощены. Полученные результаты обогащения лежалых в хранилище №2 хвостов приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9. Результаты обогащения по схеме

Продукты	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		WO ₃	Mo	WO ₃	Mo
Сульф. конц.	0,3	0,52	2,52	3,3	43,4
Шеелит. конц.	1,5	2,05	0,2	65,4	17,1
Хвост	98,2	0,015	0,007	31,3	39,5
Исходные	100,0	0,047	0,0174	100,0	100,0

Выход концентратов оказался весьма мал для корректного исследования возможности их доводки. Установлено, что сульфидный концентрат по своему составу аналогичен грубому концентрату фабрики и для него возможно применение отработанного режима доводки. Дальнейшая концентрация полезных компонентов в этих условиях не вызывает сомнения, однако до какого уровня целесообразно повышать содержание ценных компонентов без значительной потери их извлечения, можно оценить только длительными промышленными испытаниями всей технологии. Режим доводки должен обеспечивать полное извлечение всех драгметаллов, что маловероятно.

Так как выход шеелитового концентрата был существенно выше, были проведены исследования по его доводке с применением пропарки в растворе жидкого стекла. (1,5% раствор соответствует расходу-реагента 350 г/т руды). Установлено, что грубый концентрат, содержащий около 2% WO₃, легко доводится до содержания 20% в 2-х этапах флотации. Дальнейшая концентрация WO₃ в лаборатории была невозможна, ввиду весьма малого выхода промежуточного продукта, т. е. определение оптимального качества концентрата также может быть уточнено только на промышленном уровне, но высокие затраты на строительство и реализацию промышленной технологии без ее предварительной апробации делает технологию бесперспективной.

При доводке грубого шеелитового концентрата из него можно выделить лишь магнитной сепарацией сульфидную пирротиновую часть, содержащую платину, которая затем может быть объединена с сульфидным концентратом.

Таким образом, в лабораторном масштабе проведены исследования по извлечению из хвостов золота, платины, молибдена и вольфрама по двум технологическим схемам: гравитационной и флотационной. Гравитационная схема не дала должного эффекта, как по содержанию ценных компонентов в тяжелой фракции, так и по извлечению. В связи с этим экономическая целесообразность этой схемы не просчитывается, и она отклонена от дальнейшего рассмотрения.

Флотационная схема позволяет получить сульфидный продукт и вольфрамовый продукт с достаточно высоким извлечением ценных компонентов. После доводки этих продуктов получают: сульфидный концентрат, в который извлекаются молибден, золото и платина; шеелитовый концентрат, в который также извлекается вольфрам. Однако оба концентрата имеют содержание основных компонентов молибдена и вольфрама значительно ниже уровня, предусмотренного ГОСТом. И оценка содержания в этих концентратах ценных составляющих носит несколько условный характер. Для реализации этой схемы на действующих металлургических заводах необходимо провести дополнительные маркетинговые исследования, перспективность которых маловероятна.

Выполненная укрупненная предварительная оценка предлагаемого предложения определила возможную эффективность, но она также является условной по причине того, что не изучены вопросы перспективности кооперации создаваемого предприятия с Тырнаузской обогатительной фабрикой по вопросам снабжения оборотной водой, складирования конечных хвостов нового производства.

Не изучена площадка строительства и состояние сооружений бывшего кирпичного завода. Не проведены маркетинговые исследования по сбыту продукции.

Поэтому в качестве наиболее перспективного и экономически благоприятного варианта утилизации лежалых хвостов Тырнаузской обогатительной фабрики с весьма низким содержанием ценных компонентов признано целесообразным оценить перспективу использования хвостов в составе компонентов закладочной смеси для подземной доработки Тырнаузского месторождения в качестве вяжущих при соответствующей термической обработке, либо в качестве наполнителя смеси, что не требует, как было сказано выше, дополнительной подготовки хвостов, включая их дезинтеграцию.

3.4. Исследование технологий формирования вяжущей активности хвостов обогащения для использования в закладке выработанного пространства Эльбрусского подземного рудника

Для приготовления закладочных смесей использовались лежалые хвосты обогащения руд Тырнаузского месторождения, складированные в хвостохранилища № 2, что позволяет снизить экологические и механические риски хранения отходов. Поверхность хвостохранилища №2 была рекультивирована еще в прошлом веке. Для этого был разработан карьер по добыче «инертного» материала, которым был засыпан поверхностный слой. Однако, этот слой после природного в 90-х годах прошествия селя был нарушен, и сейчас хвосты продолжают оказывать воздействие на экосистему уникального природоохранного региона.

Для исследования возможности формирования вяжущих свойств лежалых хвостов при обжиге и оценке температуры, при которой хвосты обогащения меняют свою массу, был проведен синхронный анализ [67]. Синхронный термический анализ – это комплексный метод, основанный на совмещении в одном измерении термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Метод синхронного термического анализа позволяет исследовать и определять температуры и теплоту фазовых переходов; степень

кристалличности; стеклование; полиморфизм; изменение массы; наличие/отсутствие примесей; температурную стабильность; кинетику реакций окисления/восстановления, коррозии.

Синхронный термический анализ проводился на приборе STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия) (рис. 3.4). Образец вещества в виде порошка равномерно распределялся по дну корундового тигля и уплотнялся. Тигель с образцом, закрытый крышкой, устанавливался на держателе прибора с термопарой типа S чувствительностью 1 мкВт. Нагрев образца в диапазоне температур от 30 до 1450 °С со скоростью 10 °С/мин. происходил в атмосфере аргона (20 мл/мин).



Рисунок 3.4. Внешний вид прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter

Контроль и сбор результатов эксперимента осуществлялся с помощью электронной системы и пакета программ NETZSCH-Proteus. Анализ данных выполнялся в программе Proteus Analysis. Результаты исследования проб хвостов, отобранных из прудковой и пляжной зон, представлены на рисунках 3.5. и 3.6., соответственно.

Проведенный термогравиметрический анализ проб хвостов показал, что при обжиге при температуре 750 °С 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. Это было в последующем подтверждено испытаниями физико-механических характеристик закладочных смесей, приготовленных на основе использования обожженных хвостов обогащения.

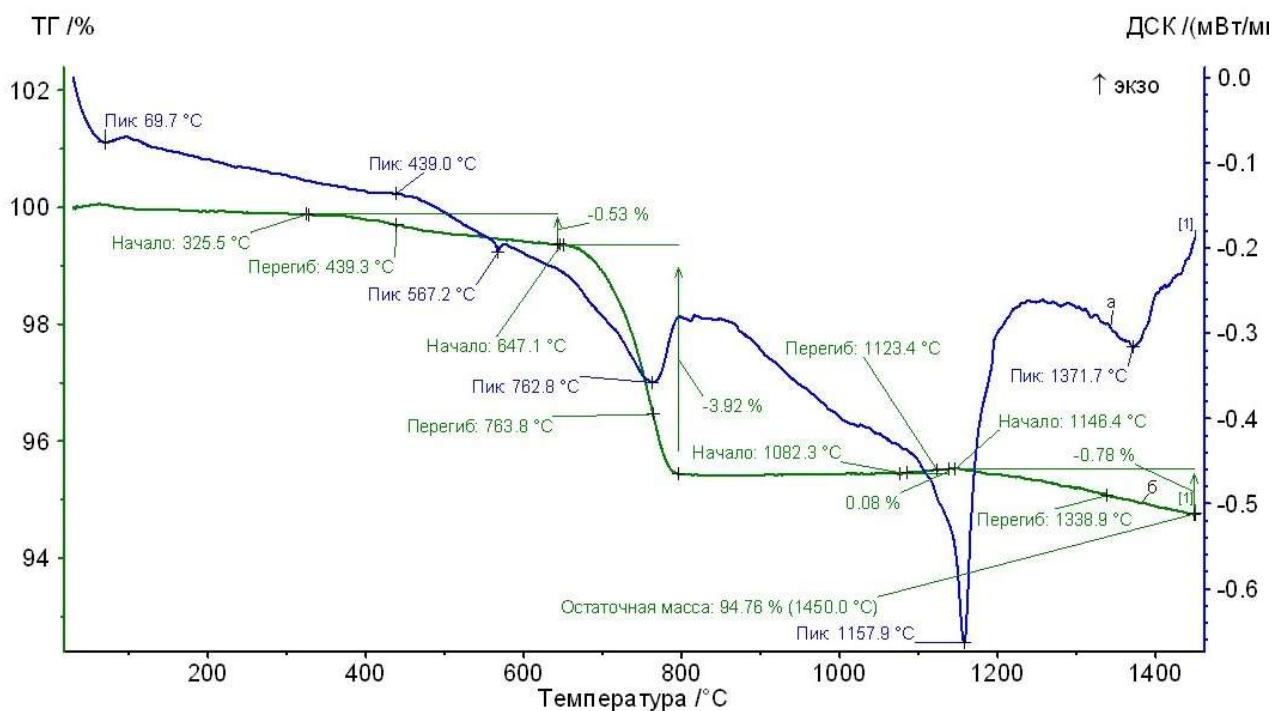


Рисунок 3.5. Кривые синхронного термического анализа проб: а – кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК-кривая); б – термогравиметрическая кривая (ТГ-кривая)

Анализ данных рисунка 3.5. показал, что на ДСК-кривой отмечено пять эндотермических пиков и один экзотермический. Первый эндотермический пик при температуре 69,7 °С не сопровождается существенным изменением массы пробы, что подтверждает анализ ТГ-кривой. При температурах, соответствующих остальным указанным пикам (в т. ч. и экзотермического пика с вершиной при 439,0 °С), наблюдается незначительное уменьшение массы образца. По ТГ-кривой определено, что разложение основной массы пробы из прудковой зоны начинается при температуре 525,5 °С и протекает в три стадии: на первой стадии происходит потеря 0,53 % массы исследуемого образца (скорость этого процесса достигает максимума в точке перегиба соответствующего участка ТГ-кривой при температуре 739,3 °С). На второй

стадии эндотермического процесса масса пробы уменьшается ещё на 3,92 % (температура начала этой стадии – 647,1 °С, температура максимальной скорости данного процесса – 763,8 °С). На третьей стадии (начало – 1146,4 °С) отмечена дополнительная потеря 0,78 % массы образца (максимум скорости этой стадии зафиксирован при 1338,9 °С). При температуре 1082,3 °С масса образца начинает возрастать (прирост массы достигает 0,08 % при температуре максимальной скорости этого процесса – 1123,4 °С), что объясняется вероятно, окислением компонентов пробы остаточным кислородом. Масса образца при температуре завершения нагрева (1450 °С) равна 94,76 % от первоначальной.

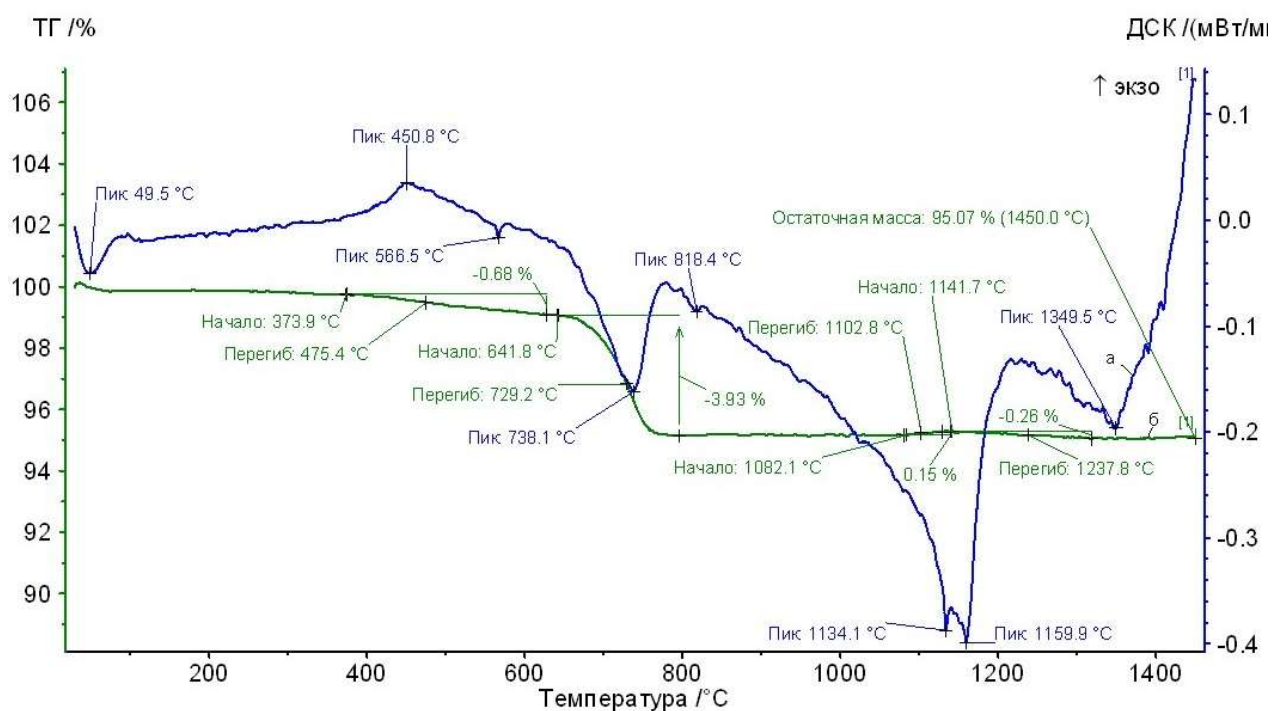


Рисунок 3.6. Кривые синхронного термического анализа дубликата пробы: а – ДСК-кривая; б – ТГ-кривая

Анализ рисунка 3.6. показал, что на ДСК-кривой указано семь эндотермических пиков и один экзотермический. Эндотермические пики происходят при 49,5, 818,4 и 1349,5 °С и не сопровождаются значительным изменением массы образца, о чём свидетельствует анализ ТГ-кривой. В диапазоне температур эндотермического пика с вершиной при 1134,1 °С наблюдается увеличение массы пробы, которое, скорее всего, объясняется

окислением составляющих образца остаточным кислородом. При температурах остальных отмеченных пиков (в т.ч. экзотермического пика с вершиной при 450,8 °С) происходят процессы деструкции составляющих компонентов в пробе.

Таким образом, по ТГ-кривой установлено, что основная масса этого образца начинает разлагаться при температуре 373,9 °С. Этот процесс проходит в три стадии: на первой стадии наблюдается снижение массы пробы на 0,68 % (скорость этого процесса достигает максимума в точке перегиба соответствующего участка ТГ-кривой при температуре 475,4 °С), вторая стадия начинается при 641,8 °С, на этой стадии происходит потеря 3,93 % массы образца (скорость данного процесса достигает максимального значения при температуре 729,2 °С), на третьей стадии (начало – 1141,7 °С) масса исследуемой пробы уменьшается ещё на 0,26 % (температура максимальной скорости этой стадии – 1237,8 °С). Масса образца начинает расти при 1082,1 °С (прирост массы достигает 0,15 %, максимум скорости этого процесса отмечен при температуре 1102,8 °С). Остаточная масса этого образца при температуре 1450,0 °С равна 95,07 %.

Таким образом, проведенный термогравиметрический анализ проб хвостов месторождения показал, что при обжиге до 750 °С происходит наибольшая потеря массы вещества, то есть именно при этой температуре происходит преобразование минеральных форм и приобретение минеральным составом хвостов после обжига при такой температуре собственной вяжущей активности.

Поэтому для дальнейших исследований, направленных на определение собственной вяжущей активности, приобретенной при обжиге хвостов, для обжига была принята именно эта температура. Внешний вид хвостов до и после обжига показан на рисунке 3.7.

Процесс приготовления составов и форм образцов твердеющего закладочного массива показан на рисунке 3.8.

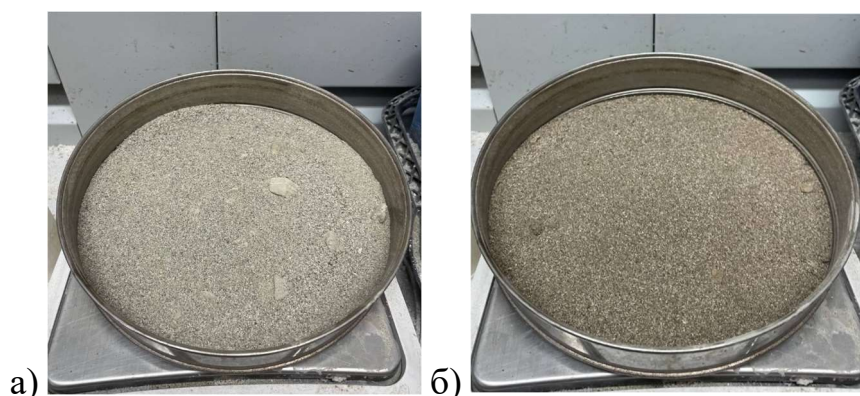


Рисунок 3.7. Внешний вид хвостов: а – до обжига, б – после обжига при температуре 750°С

Исследовались составы хвостов, отобранных из пляжной зоны и из прудковой. Далее для исследования вяжущей активности хвостов обогащения из пляжной и прудковой зон были исследованы составы с различным соотношением исходных (без обжига) и обожжённых хвостов обогащения (табл. 3.10): 25% исходных и 75% обожженных; 50% исходных и 50% обожженных; 75% исходных и 25 обожженных; 100% исходных.

Таблица 3.10. Описание исследуемых составов закладочных смесей из хвостов обогащения, отобранных из пляжной и прудковой зон

Расход материалов, кг/м³				
№ п/п	Хвосты из пляжной зоны			
	Цемент	Исходные хвосты	Обожжённые хвосты	Вода
1	200	1620	—	455
2	120	1700	—	455
3	200	810	810	455
4	120	850	850	455
5	—	1820	—	455
6	—	910	910	455
7	—	—	1820	455
Хвосты из прудковой зоны				
8	200	1620	—	455
9	120	1700	—	455
10	200	810	810	455
11	120	850	850	455
12	—	1820	—	455
13	—	910	910	455
14	—	—	1820	455



Рисунок 3.8. Этапы приготовления составов и форм образцов твердеющего закладочного массива: а – составы, залитые в формы, б – образцы с добавлением цемента после растаривания, в – образцы до и после испытания на прессе

Исследовались стандартные образцы кубической формы с размером ребра 7x10 см. После растаривания в течение 7 суток образцы выдерживались в климатической камере в рудничных условиях твердения, далее они подвергались испытаниям на сжатие в заданные сроки твердения. Все испытания образцов проводились в соответствии с требованиями действующих ГОСТов.

Исходные исследуемые составы (см. табл. 3.10) и результаты испытаний образцов закладочной смеси (табл. 3.11), приготовленных на основе лежалых

хвостов обогащения Тырнаузской обогатительной фабрики с варьированием расхода цемента обожженных и исходных лежалых хвостов обогащения руд Тырнаузского месторождения, отобранных из пляжной и прудковой зон, в динамике набора прочности свидетельствуют о возможности получения заданных нормативных характеристик твердеющего закладочного массива в требуемые сроки его обнажения при различной мощности дорабатываемых рудных тел при принятых в связи с этим вариантах систем разработки.

Таблица 3.11. Динамика набора прочности образцов закладочной смеси в соответствии с составом, представленным в таблице 3.10, на одноосное сжатие, МПа

№ п/п	Длительность твердения, ст		
	Из пляжной зоны		
	14	28	90
1	0,6	1,4	3,8
2	0,2	1,0	2,2
3	0,8	1,8	4,0
4	0,4	1,2	2,4
5	—	—	—
6	—	—	0,2
7	—	0,22	0,3
Из прудковой зоны			
8	1,6	2,6	4,8
9	1,0	1,4	2,4
10	1,8	3,4	5,4
11	1,4	—	3,2
12	—	—	—
13	0,4	0,6	1,2
14	0,8	1,3	1,6

В результате испытаний установлено, что в пляжной зоне сосредоточены в основном пески, которые не имеет смысла обжигать, так как они, по сути, инертные и не содержат минеральных форм, которые способны проявлять после обжига собственную вяжущую активность и снизить расход цемента для получения твердеющей закладочной смеси.

Далее были проведены 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 [67].

Кривые нагружения образцов закладочного массива представлены на рисунке 3.9. Они позволили определить модуль деформации и модуль спада для составов закладочных смесей в соответствии с таблицей 3.10., используемые далее при моделировании напряженно-деформируемого состояния закладочного массива на различных стадиях развития горных работ.

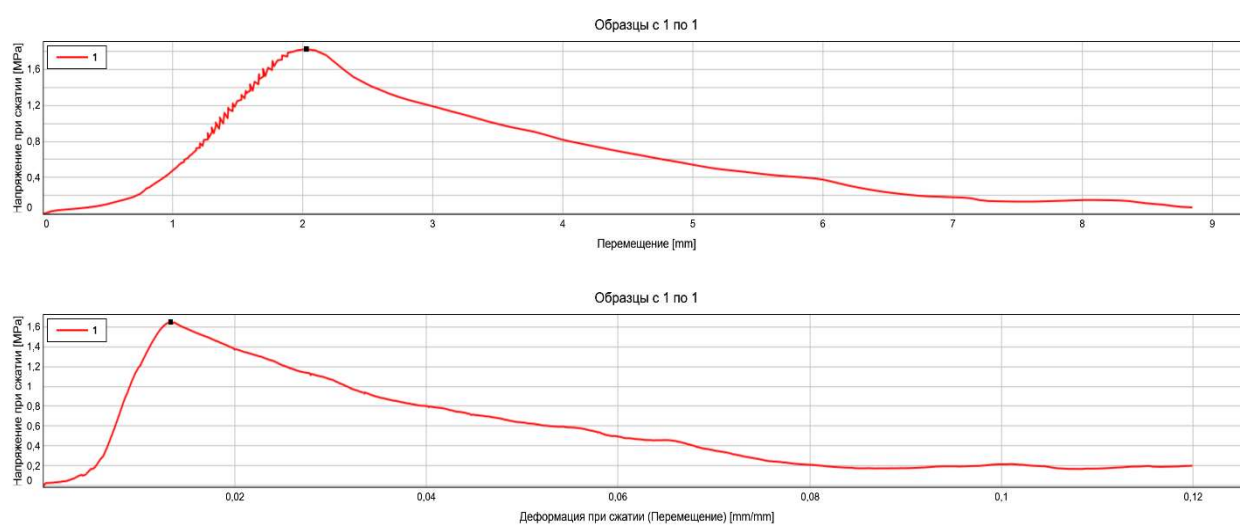


Рисунок 3.9. Пример кривых нагружения образцов твердеющего закладочного массива, используемых для оценки модуля деформации и модуля спада на разгрузочной ветке

Закономерности динамики набора прочности образцов на основе исходных и обожженных проб на разные сутки проведения испытаний показаны на рисунках 3.10. и 3.11.

Представленные 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 закладочных смесей, обеспечивающих экономичную и безопасную доработку оставленных запасов вольфрамо-молибденовых руд Тырнаузского

месторождения на всех стадиях освоения запасов. Это позволит упростить технологическую схему закладочного комплекса и решить проблему экологически безопасной утилизации складированных хвостов обогащения в закладке выработанного пространства.

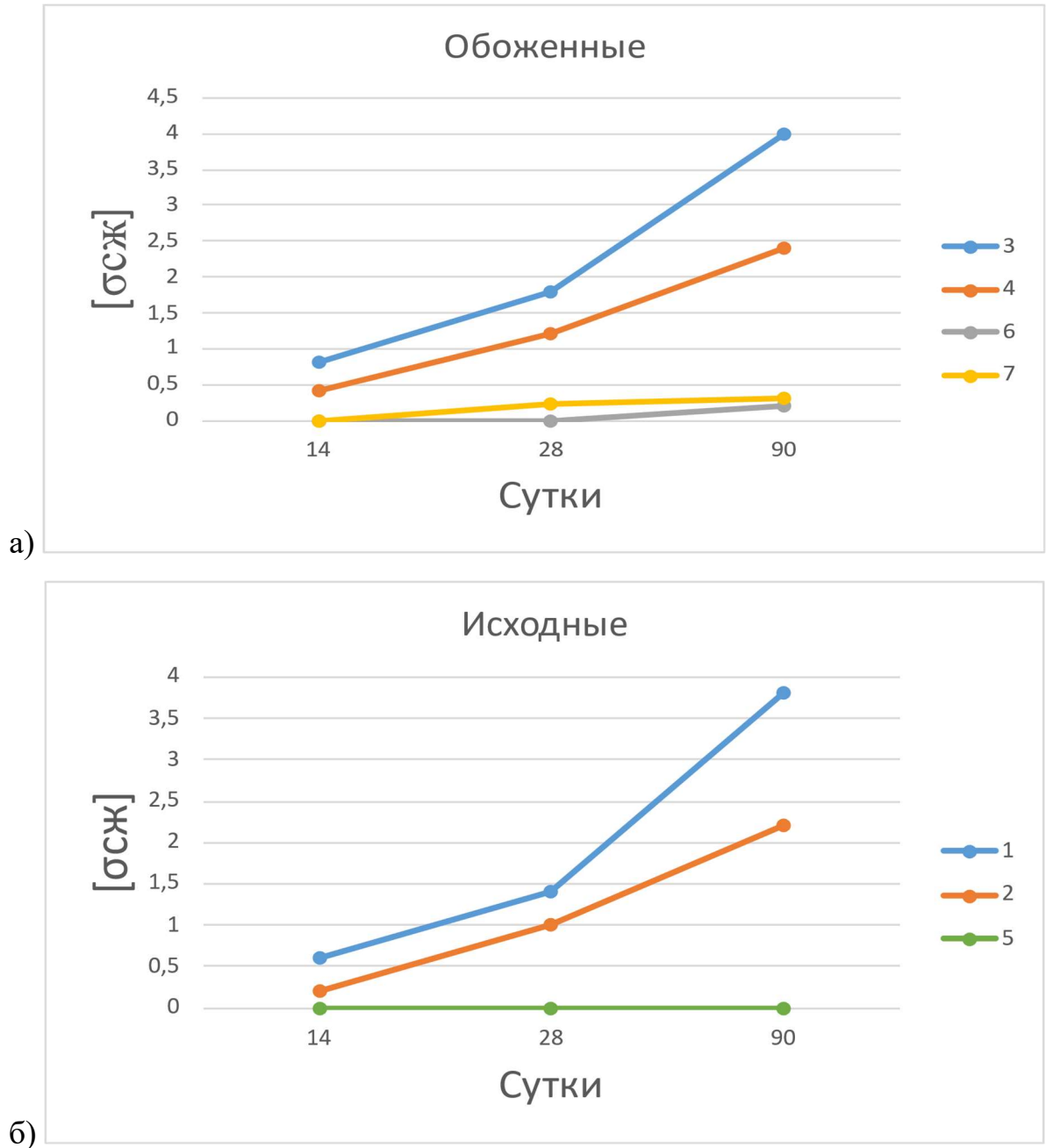


Рисунок 3.10. Графики динамики набора прочности образцов закладочного массива на основе исходных (а) и обожженных (б) проб, отобранных из пляжной зоны: 1–7 – номера составов закладочных смесей в соответствии с данными таблицы 3.11

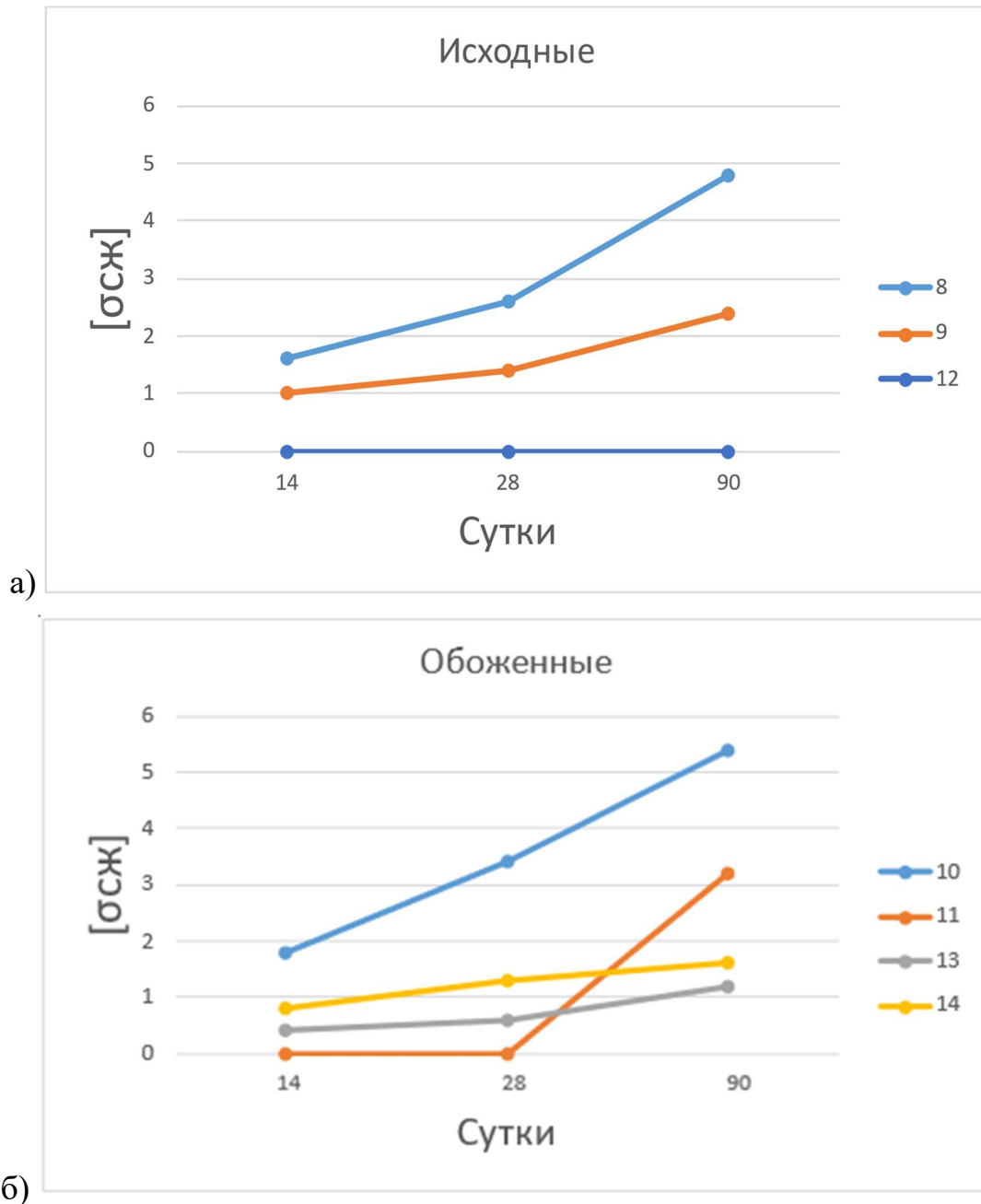


Рисунок 3.11. Графики динамики набора прочности образцов закладочного массива на основе исходных (а) и обожженных (б) проб, отобранных прудковой зоны: 8–14 – номера составов закладочных смесей в соответствии с данными таблицы 3.11

Обобщение результатов анализа кривых деформирования образцов под нагрузкой позволило установить связь между модулем деформации и модулем спада с прочностью образца закладочного массива на одноосное сжатие:

$$E_{\text{деф}} = 1,72 \lg[\sigma_{\text{сж}}] * 10^3 \quad (3.1.)$$

$$E_{\text{сп}} = 307 \lg[\sigma_{\text{сж}}] * 10^2 \quad (3.2.)$$

Для оценки нормативных 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 [48,70].

В ходе моделирования рассматривалась отработка запасов двух этажей: сначала отрабатывались камеры нижнего этажа, потом проводилась их заполнение твердеющей смесью, следующим этапом отрабатывался 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.

Всего было проведено моделирование для четырех вариантов:

1. Мощность рудного тела 10 м, камера ориентирована по простиранию рудного тела, длина камеры 70 м, высота камеры 75 м, мощность МКЦ 10 м, пролет камеры равен мощности рудного тела.

2. Мощность рудного тела 15 м, камера ориентирована по простиранию рудного тела, длина камеры 50 м, высота камеры 75 м, мощность МКЦ 20 м, пролет камеры равен мощности рудного тела.

3. Мощность рудного тела 20 м, камера ориентирована по простиранию рудного тела, длина камеры равна мощности рудного тела, высота камеры 75 м, мощность МКЦ 30 м, пролет камеры 30 м.

4. Мощность рудного тела 30 м, камера ориентирована вкрест простирания рудного тела, длина камеры равна мощности рудного тела, высота камеры 75 м, мощность МКЦ 20 м, пролет камеры 20 м.

В ходе моделирования предполагалось, что недозаклад камер отсутствует, что предопределяло завышенные величины вертикальных напряжений в закладке.

Результаты экспериментального определения природного (первоначального) напряженного состояния массива пород крайне противоречивы [56,97]. Поэтому в процессе моделирования были рассмотрены два крайних варианта:

1. Гравитационно-тектоническое, когда главное нормальное напряжение максимального сжатия ориентировано вертикально и равно весу налегающей толщи ($\sigma_z = \sigma_H$), а горизонтальные напряжения, ориентированные вкрест (σ_x) и по простиранию (σ_y) рудного тела составляют 80% от максимального ($\sigma_x = \sigma_y = 0,8\sigma_z$).

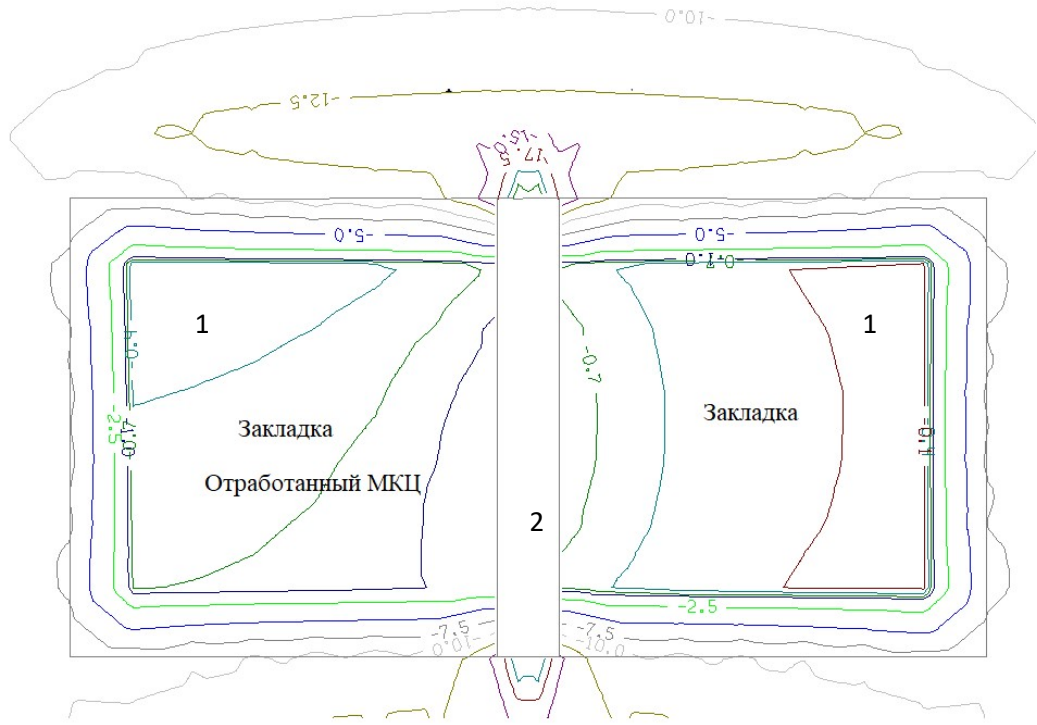
2. Гравитационное, когда главное нормальное напряжение максимального сжатия ориентировано вертикально и равно весу налегающей толщи ($\sigma_z = \sigma_H$), а горизонтальные напряжения, ориентированные вкрест (σ_x) и по простиранию (σ_y) рудного тела составляют 40% от максимального ($\sigma_x = \sigma_y = 0,4\sigma_z$).

Во всех случаях предполагалось, что нижний этаж находится на глубине 400 м от земной поверхности, т.е. $\sigma_z = 10,8$ МПа.

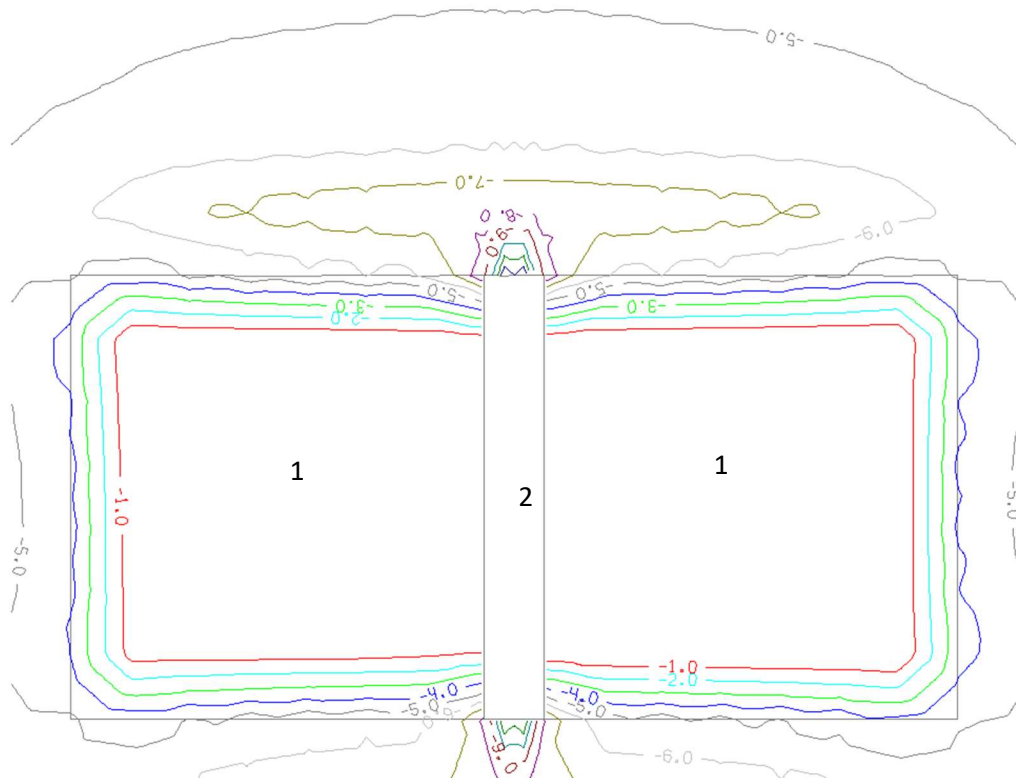
Ориентировка координатных осей: ось X горизонтально вкрест простирания рудного тела, ось Y – горизонтально по простиранию рудного тела, ось Z – вертикально.

Результаты расчетов напряжений в варианте 1 после отработки МКЦ нижнего этажа представлены на рисунках 3.12–3.14, после отработки МКЦ верхнего этажа – на рисунках 3.15–3.18.

Результаты расчетов напряжений в варианте 2 после отработки МКЦ нижнего этажа представлены на рисунках 3.19–3.21, после отработки МКЦ верхнего этажа – на рисунках 3.22–3.24.



а)



б)

Рисунок 3.12. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкост простирания рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 1 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

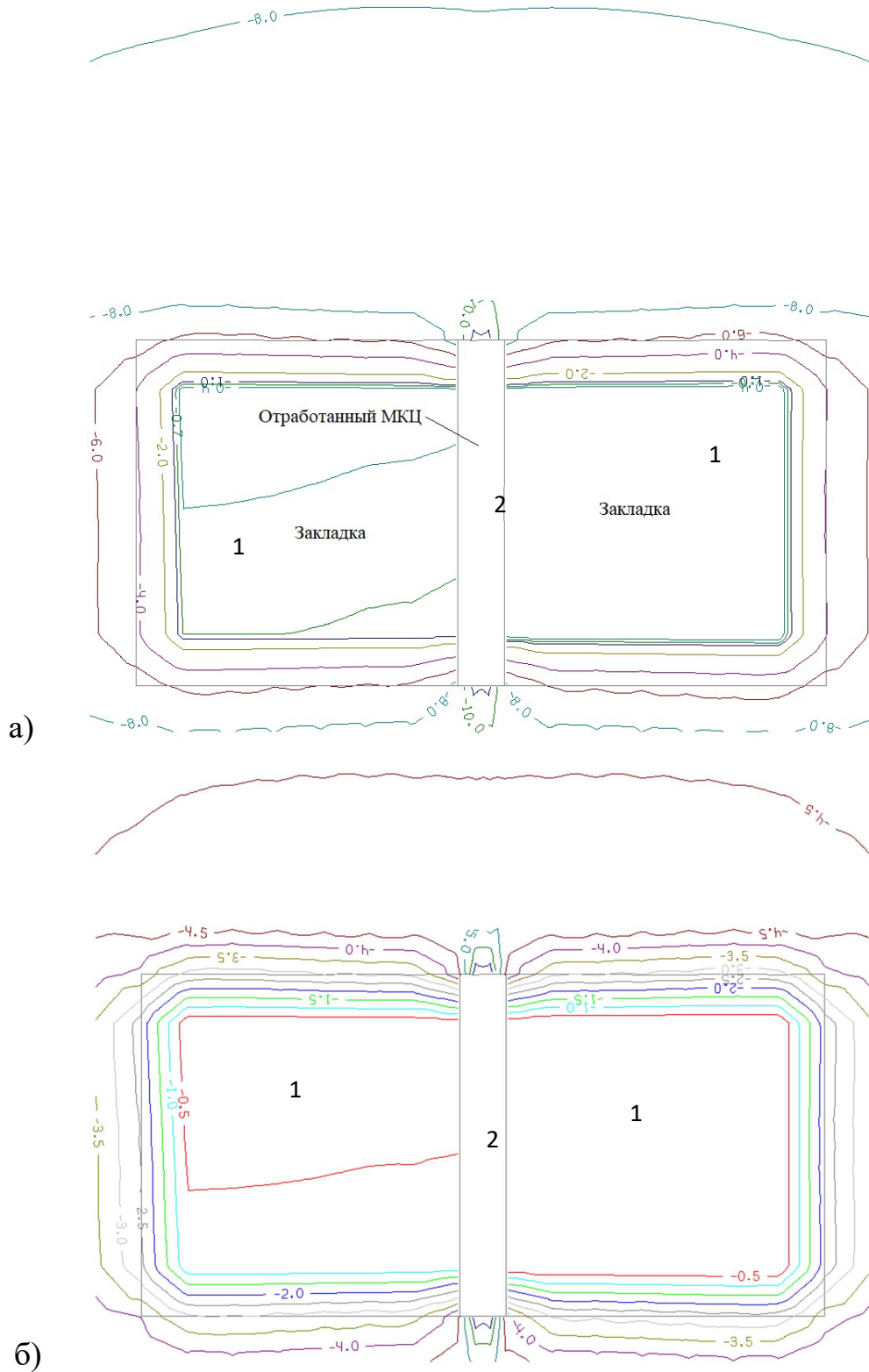


Рисунок 3.13. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 1 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

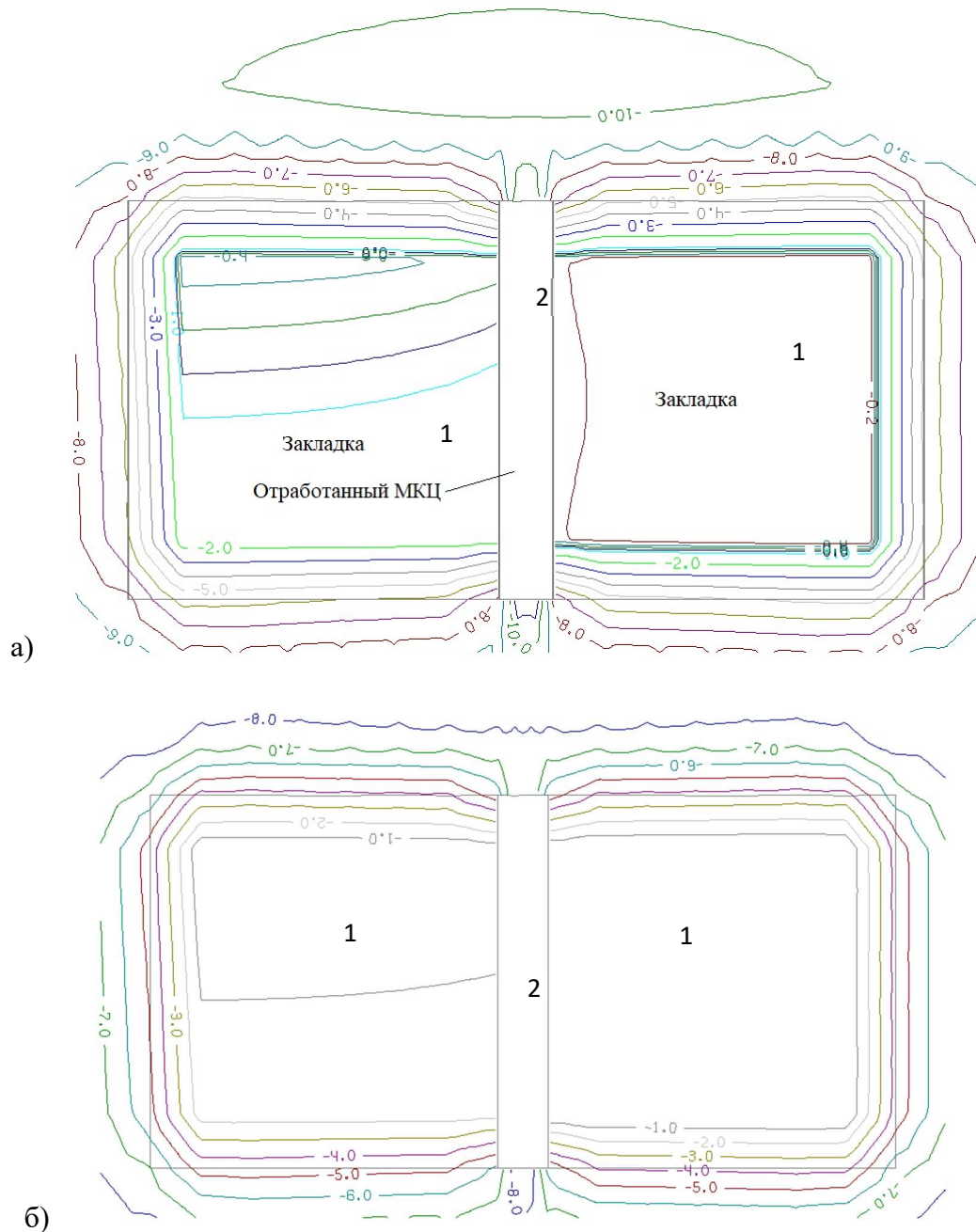


Рисунок 3.14. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z , действующих в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 1 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Анализ изолиний горизонтальных напряжений σ_x и σ_y при моделировании первого варианта (рис. 3.12 и 3.13) свидетельствует о том, что наиболее высокие значения напряжений формируются в верхней части закладочного массива, максимальные значения σ_x в направлении вкрест

простираения рудной залежи не превышают 0,5 МПа в гравитационно-тектоническом поле напряжений и 0,6 МПа в гравитационном поле. Напряжения σ_y несколько выше: максимальные значения напряжений в направлении простираения камеры в условиях действия гравитационно-тектонических природных сил σ_y составляют 0,9 МПа, в гравитационном поле – 2 МПа. Это указывает на то, что верхнюю часть закладочного массива в условиях недозаклада камеры на высоту на 2 м надо формировать из закладочной смеси, имеющей нормативную прочность 4 МПа. Для формирования закладочной смеси при заполнении нижележащих пространств камеры I очереди достаточно иметь закладочную смесь с нормативной прочностью 2,5–3 МПа.

Изолинии вертикальных напряжений σ_z (рис. 3.14) при отработке камер, пролетом до 10 м, не превышают 0,4 МПа в природном поле гравитационно-тектонических сил и 0,5 МПа в условиях действия исключительно гравитационного поля напряжений.

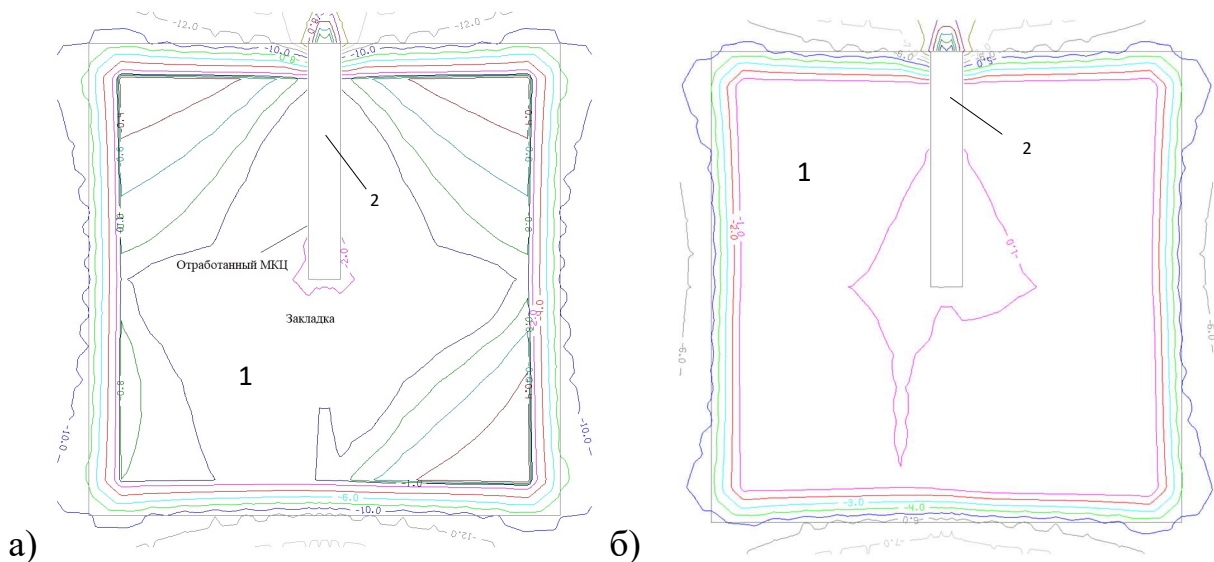


Рисунок 3.15. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкрест простираения рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 1 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

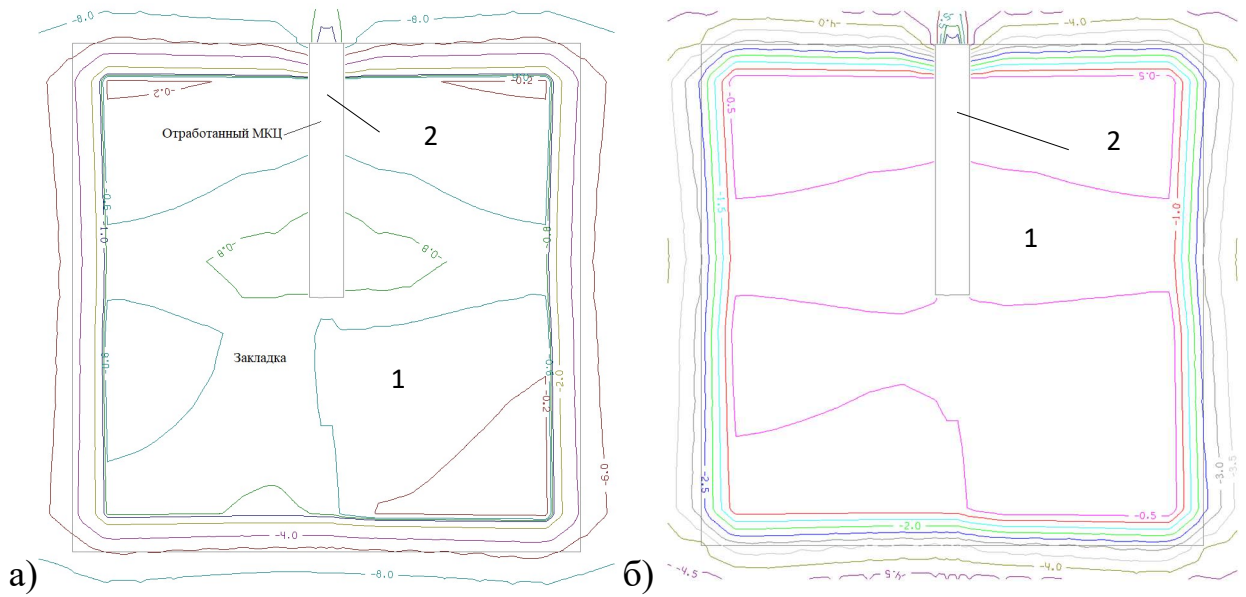


Рисунок 3.16. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 1 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

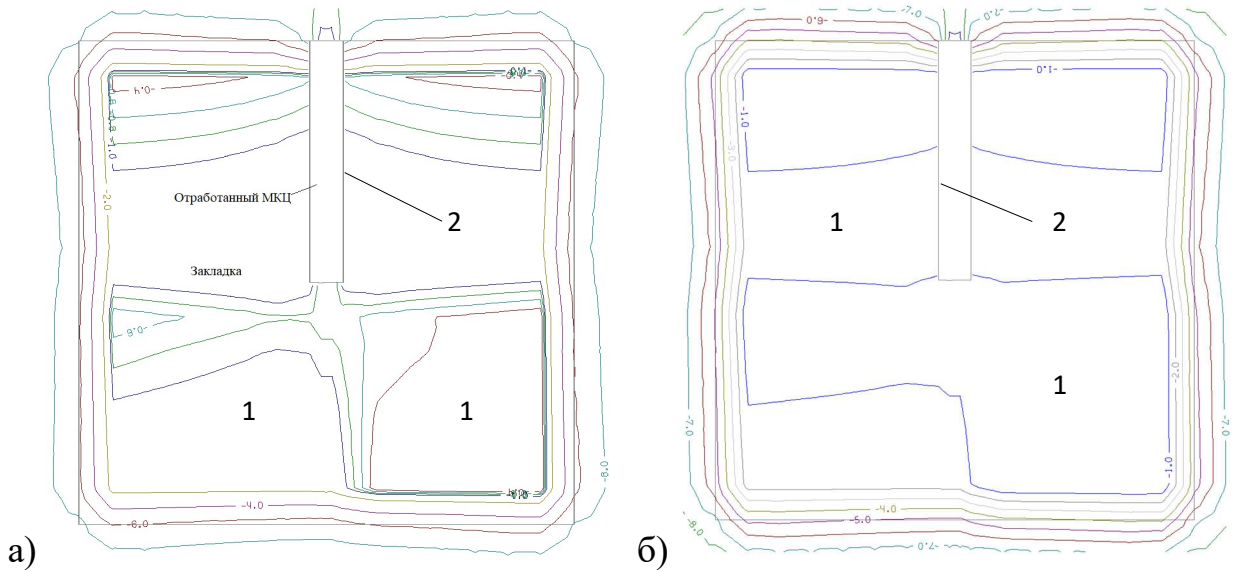


Рисунок 3.17. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 1 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Анализ эпюр распределения горизонтальных напряжений в закладочном массиве σ_x и σ_y на этапе отработки запасов верхнего этажа (рис. 3.15 и 3.16)

свидетельствует о том, что на этой стадии отработки запасов произошла концентрация горизонтальных напряжений в массиве вмещающих пород. Горизонтальные напряжения в закладочном массиве не претерпевают существенных изменений.

Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z (рис. 3.17) также подтверждают, что в целом максимальные напряжения вертикального сжатия не изменяется, и выводы, сделанные по определению нормативной прочности закладочной смеси, справедливы и для отработки последующих вышележащих горизонтов месторождения.

Увеличение мощности МКЦ при росте мощности рудной залежи во втором варианте отработки запасов нижнего горизонта не приводит к росту значений горизонтальных напряжений σ_x и σ_y в закладочном массиве камер первой очереди (рис. 3.18 и 3.19) на стадии отработки МКЦ. Максимальное значение σ_y в закладочном массиве в верхней части, высотой 2 м, не превышает 0,6 Мпа.

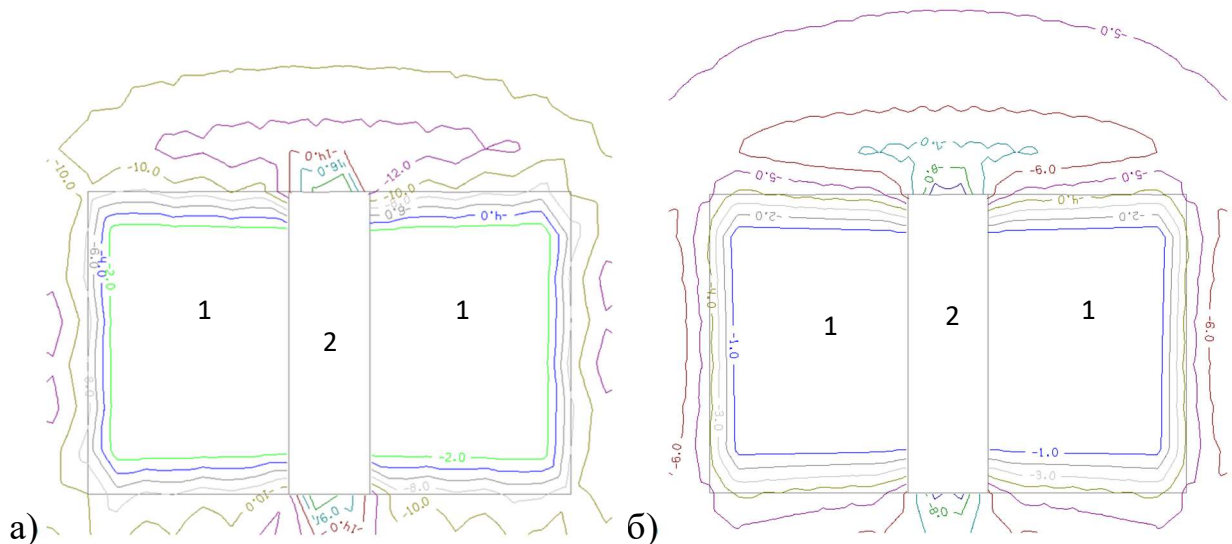


Рисунок 3.18. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкрест простирания рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 2 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

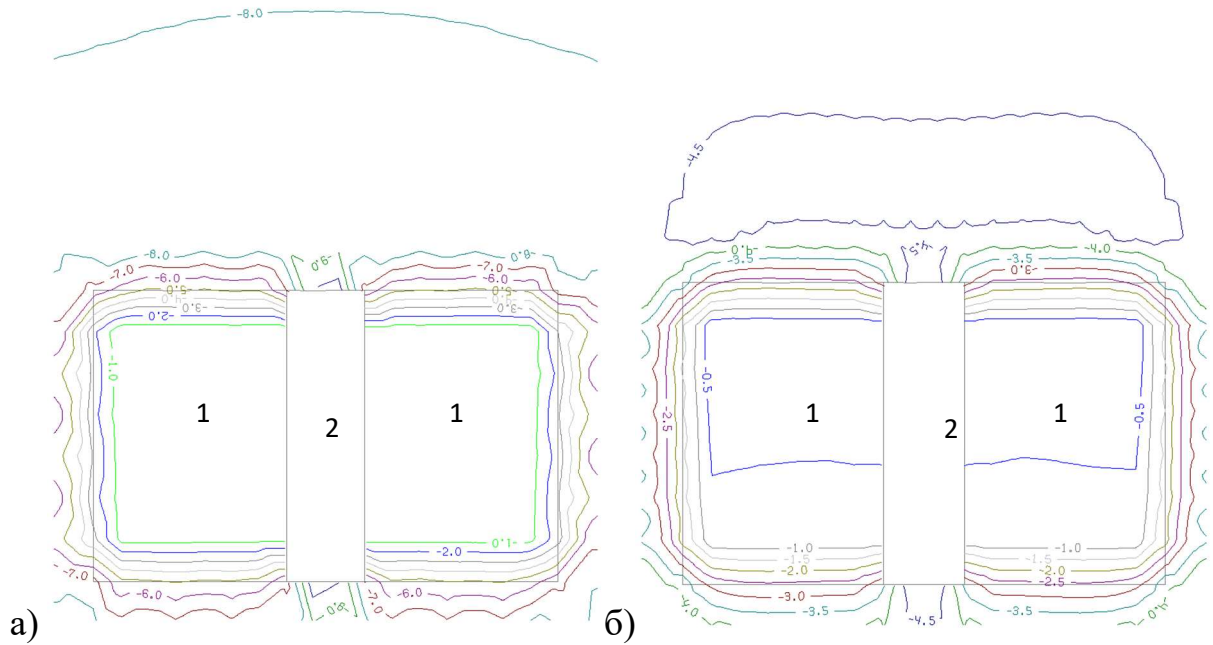


Рисунок 3.19. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 2 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

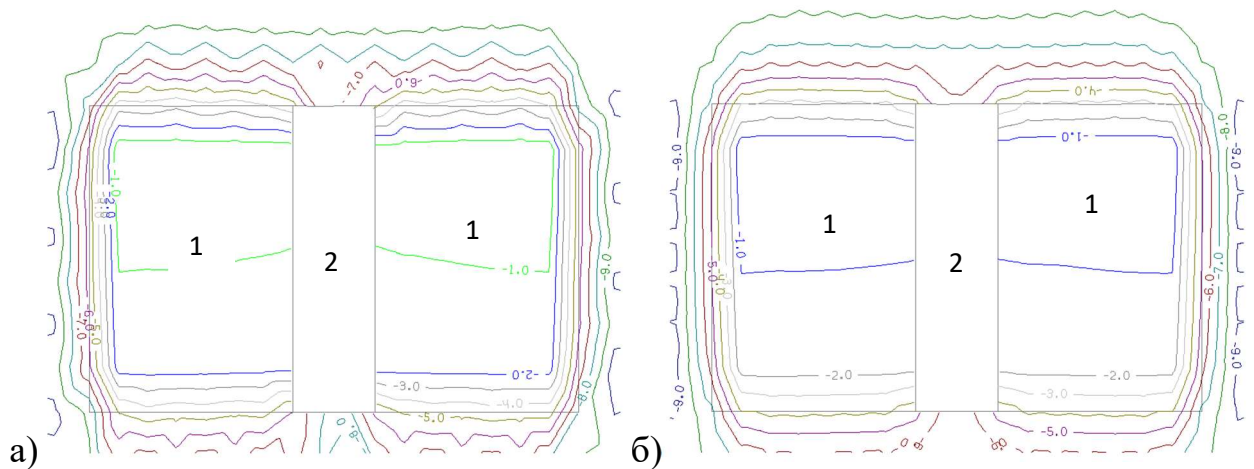


Рисунок 3.20. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z , действующих в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 2 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Вертикальные напряжения (рис. 3.20) на этой стадии отработки запасов в закладочном массиве также не превышают 2 Мпа, что определяет требования к формированию нормативной прочности закладочной смеси в камерах I

очереди. При мощности рудной залежи 10–15 м в камерах I очереди по основному объему по высоте 2 Мпа и в слое дозакладки – 3 Мпа.

В камерах II очереди нормативная прочность лимитируется только по фактору перемещения самоходного оборудования и должна составлять 1 Мпа.

При отработке запасов вышележащего горизонта при мощности рудной залежи 10–15 м горизонтальные напряжения в закладочном массиве (рис. 3.21, 3.22) камер I очереди в направлении по простиранию рудной залежи увеличиваются до 5 Мпа в верхней части закладочного массива в условиях исключительно действия поля гравитационных сил.

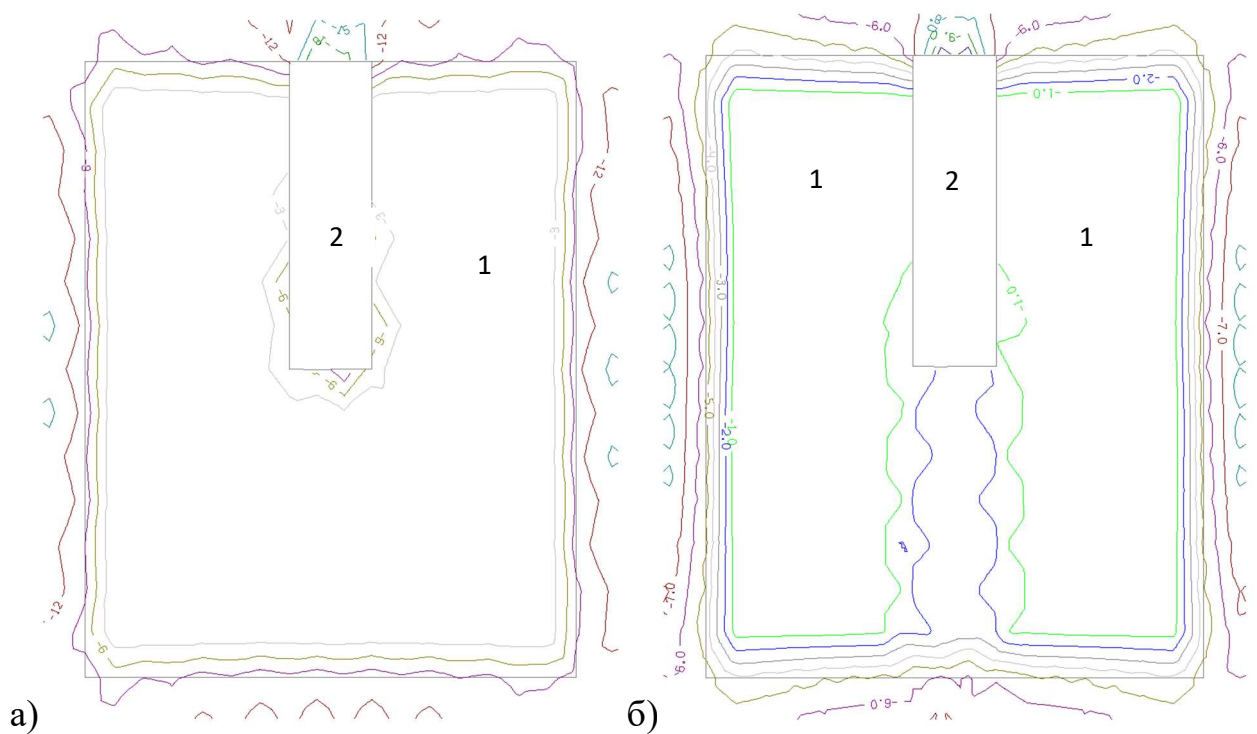


Рисунок 3.21. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкост простирания рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 2 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Данный результат был получен в условиях моделирования сплошной закладки выработанного пространства камеры и формирования условий для передачи напряжений от рудного массива к закладочному. Очевидно, что в реальных условиях отработки месторождения обеспечить полной закладки выработанного пространства камеры невозможно. Поэтому и в этом варианте

дозакладка верхней части камеры, высотой 2 м, закладочной смесью, прочностью 3 Мпа, является вполне достаточной для обеспечения устойчивости закладочного массива действующих напряжений.

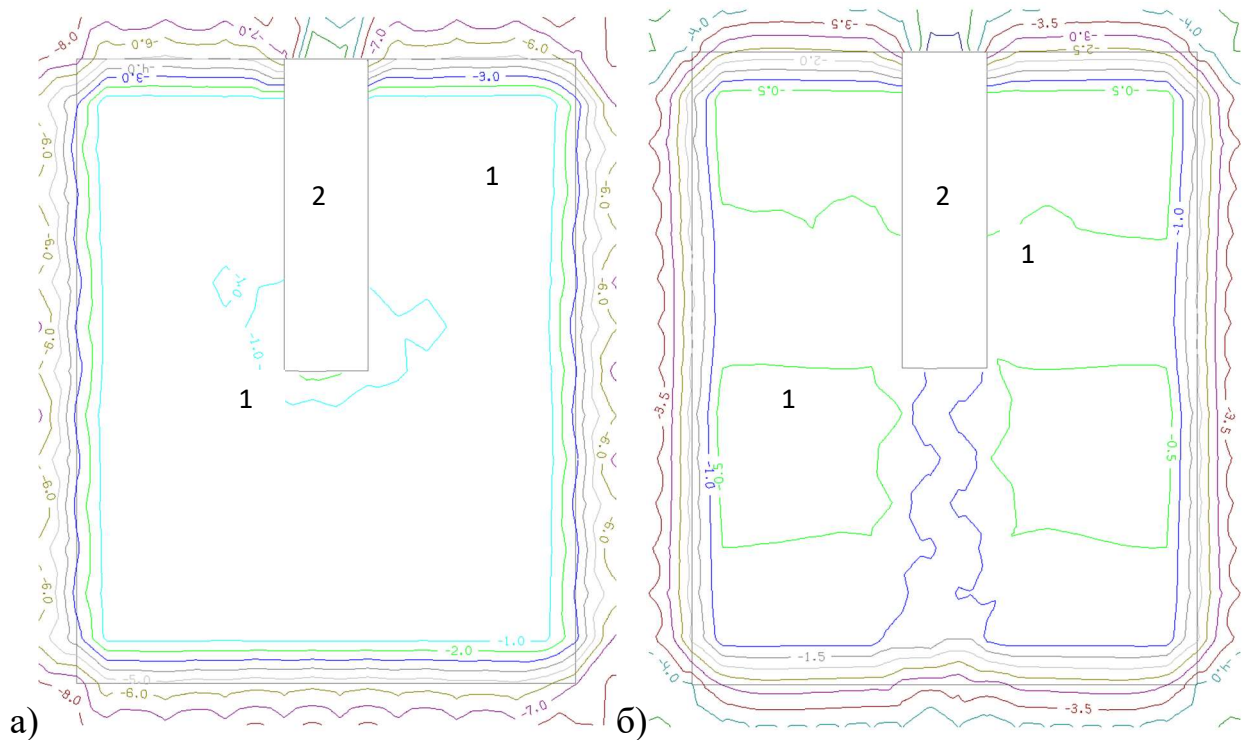


Рисунок 3.22. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела, в твердеющем закладочном массиве после отработки запасов МКЦ на вышележащем этаже в варианте 2 в условиях действия в природном поле напряжений гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

При увеличении мощности руной залежи до 20 м горизонтальные напряжения σ_x и σ_y (рис. 3.24 и 3.25) в верхней части закладочного массива повышаются до 0,8 Мпа, также в большей степени в поле действия горизонтальных сил, при этом вертикальная составляющая σ_z в поле исключительного действия гравитационных сил (рис. 3.26) повышается до 1 Мпа. В целом рекомендуемая нормативная прочность закладочной смеси 3,5 Мпа вполне обеспечивает устойчивость закладочного массива при выемке запасов МКЦ нижнего этажа в варианте 3.

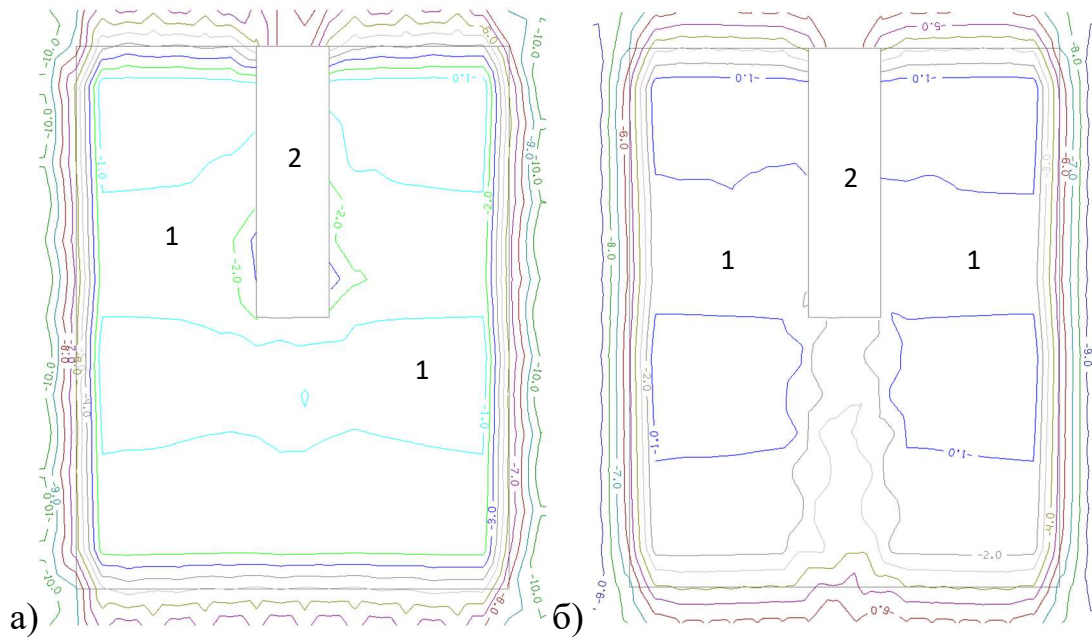


Рисунок 3.23. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z , действующих в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 2 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

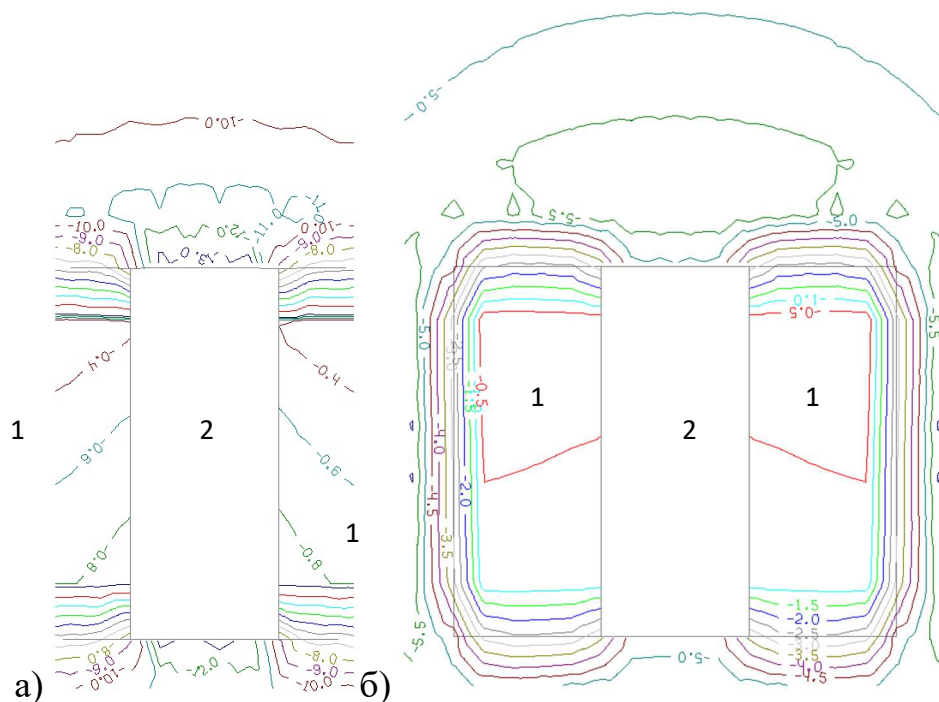


Рисунок 3.24. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкрест простирания рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 3 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

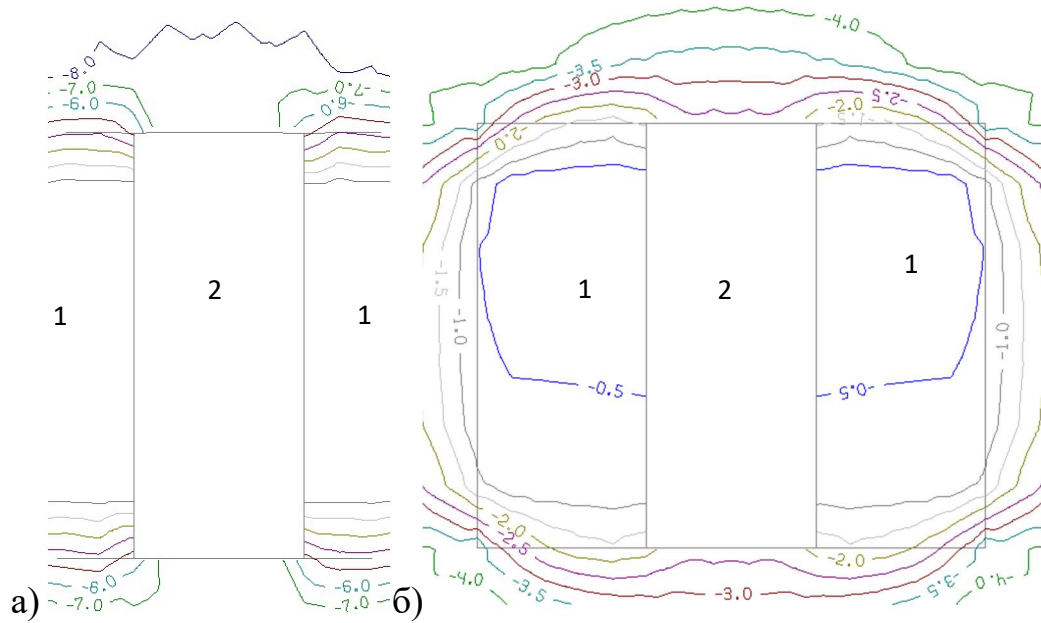


Рисунок 3.25. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 3 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

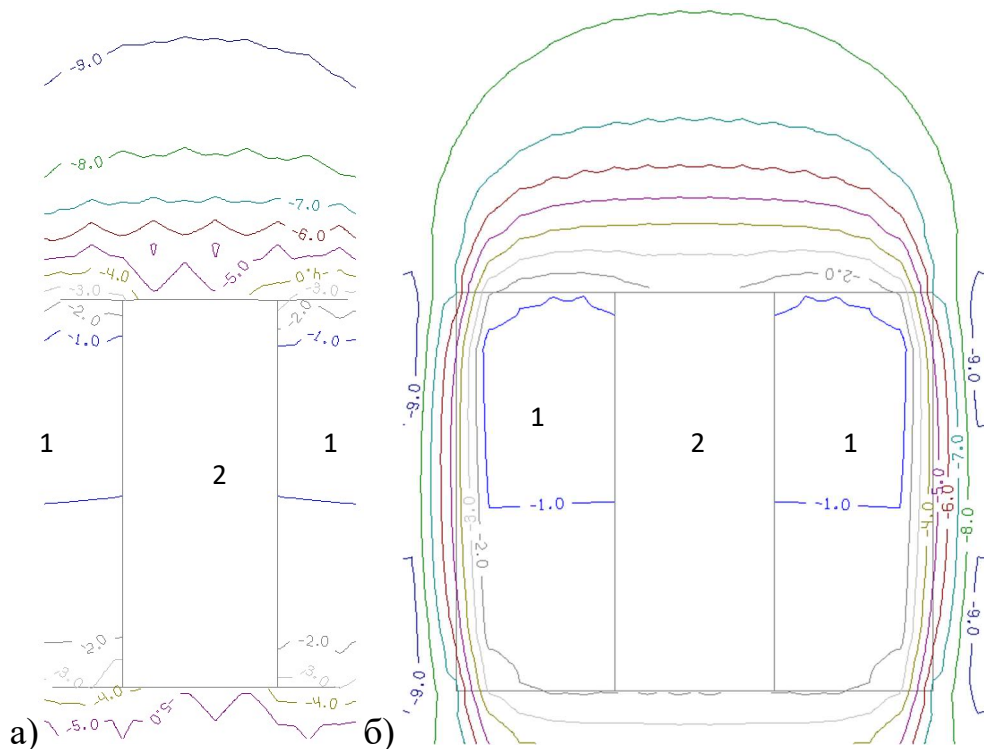


Рисунок 3.26. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 3 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

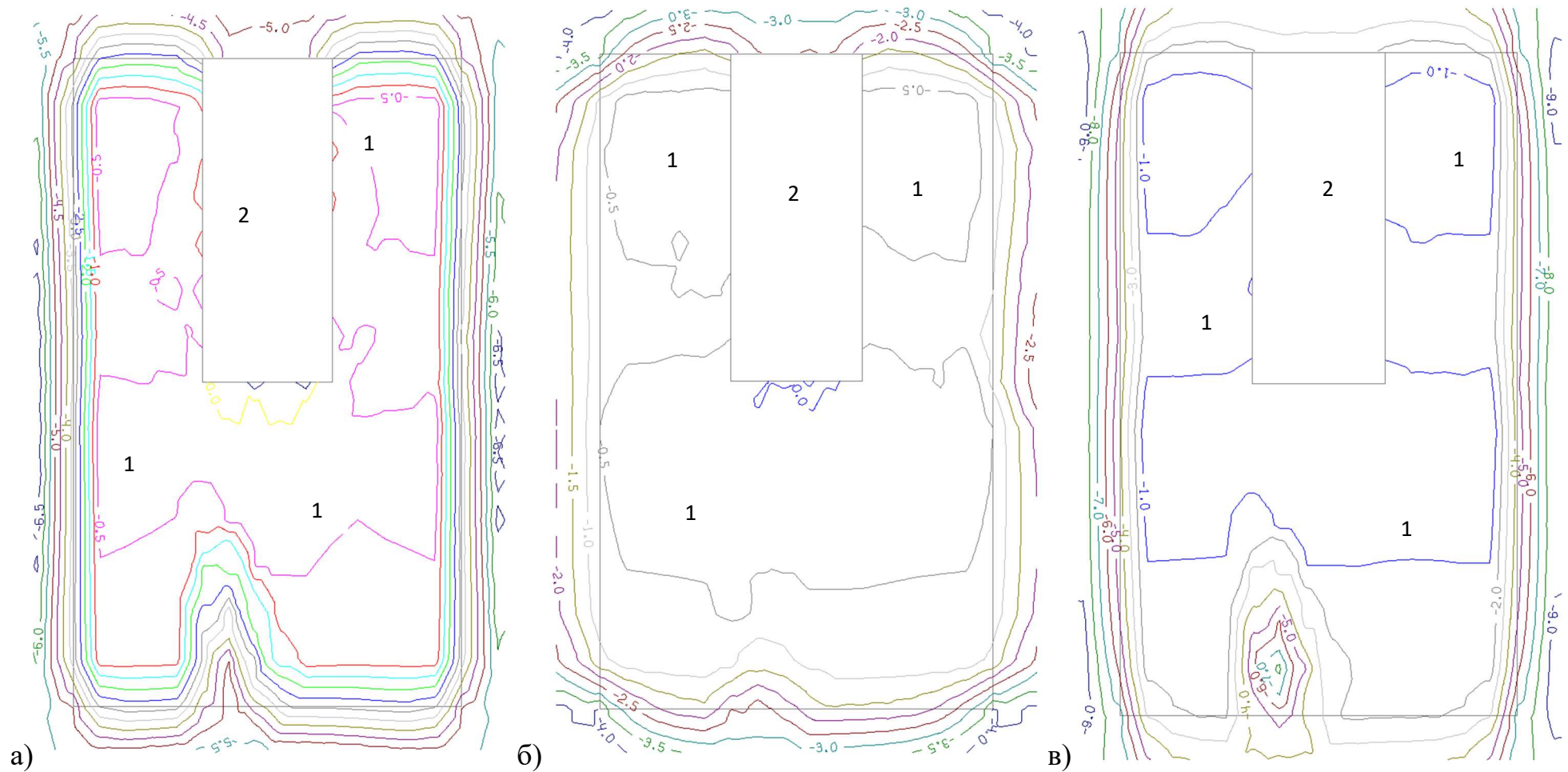


Рисунок 3.27. Распределение изолиний напряжений σ_x (а), σ_y (б), σ_z (в), действующих в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 3 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

При обработке вышележащих горизонтов в варианте 3 значения горизонтальных σ_x и σ_y , вертикальных напряжений σ_z не приобретают существенного роста, идет перераспределение напряжений на подстилающий и вышележащий массив вмещающих горных пород. В поле гравитационных сил напряжения, представленных на рисунке 3.27, определяют нормативную прочность закладочного массива на этом этапе обработки запасов.

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния твердеющей закладки при обработке запасов камерной системой в восходящем порядке для варианта № 4 представлены на рисунках 3.28–3.33.

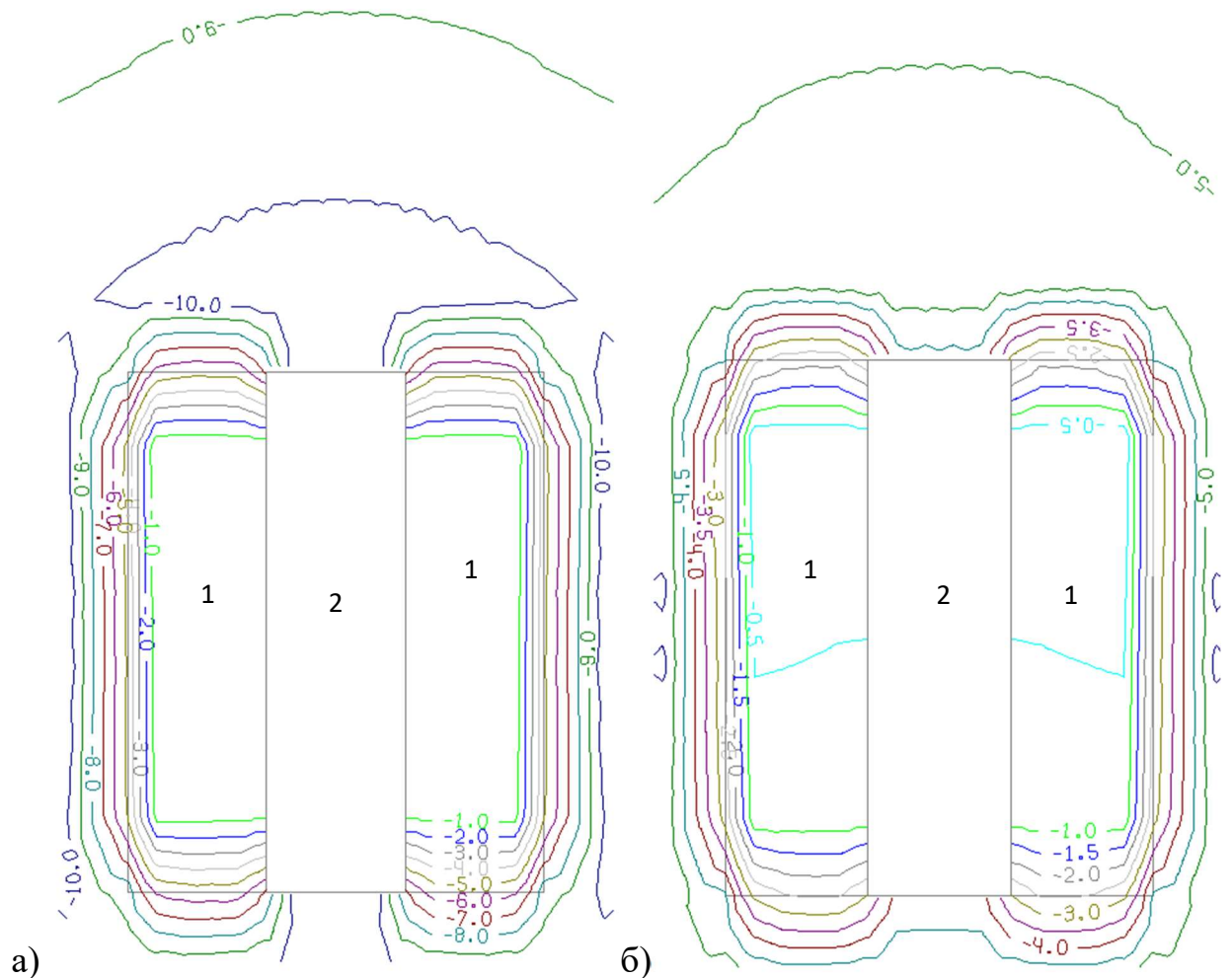


Рисунок 3.28. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкост простирания рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после обработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 4 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

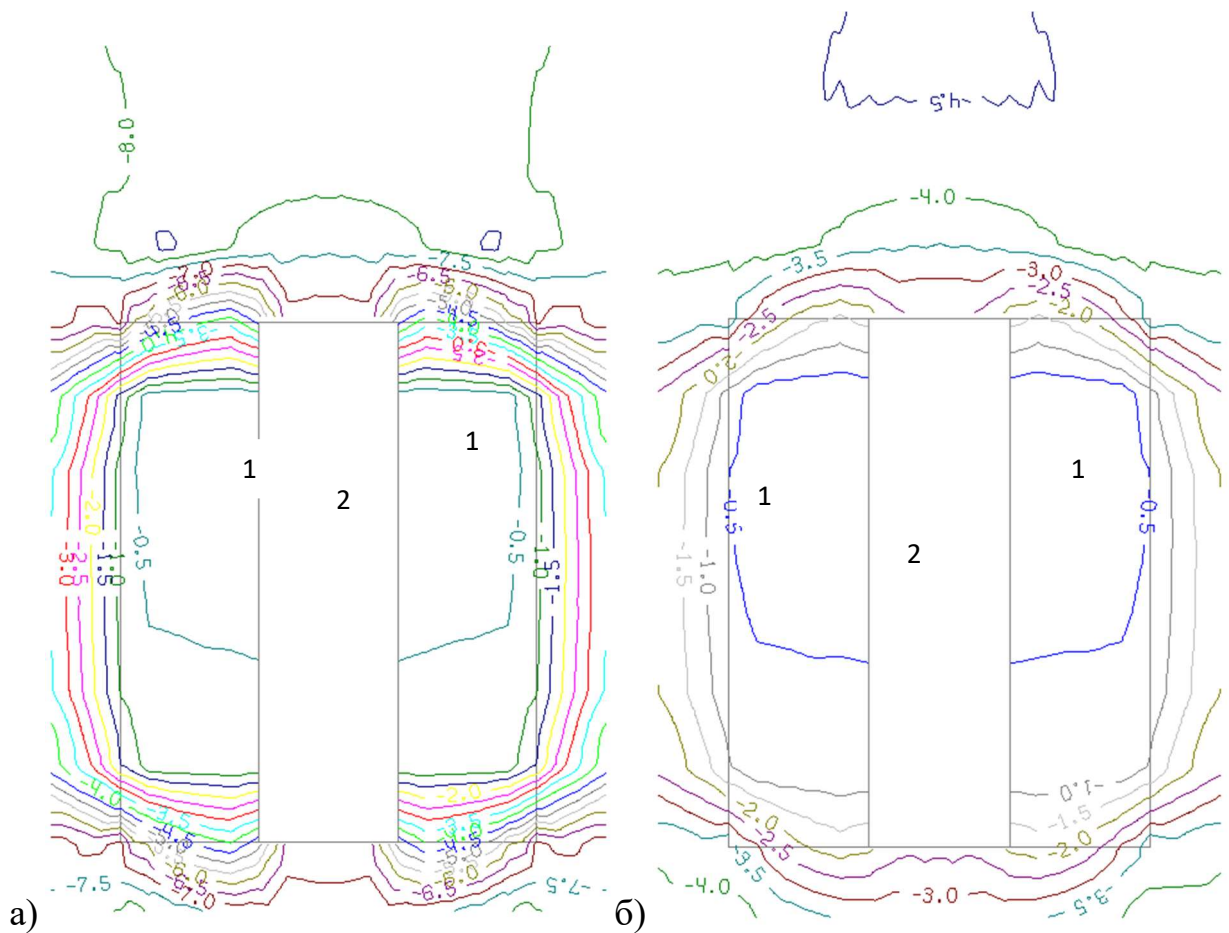


Рисунок 3.29. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 4 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Анализ распределения горизонтальных напряжений σ_x и σ_y в закладочном массиве после отработки междукамерного целика, свидетельствует о значительном увеличении напряжений σ_x в закладочном массиве – до 5 МПа в верхней части заложной камеры. Напряжение σ_y незначительно и не превышает 1 МПа.

Следует отметить, что увеличение напряжений σ_x , ориентированных вкост простирания рудного тела (рис. 3.28, 3.31), не требует повышения нормативной прочности закладочной смеси, так как отсутствие возможности деформаций закладочного массива в этом направлении, не повлияет на

устойчивость закладочного массива. Отработка запасов на вышележащем этаже (рис.3.31-3.33) не привела к существенному росту напряжений в закладочном массиве.

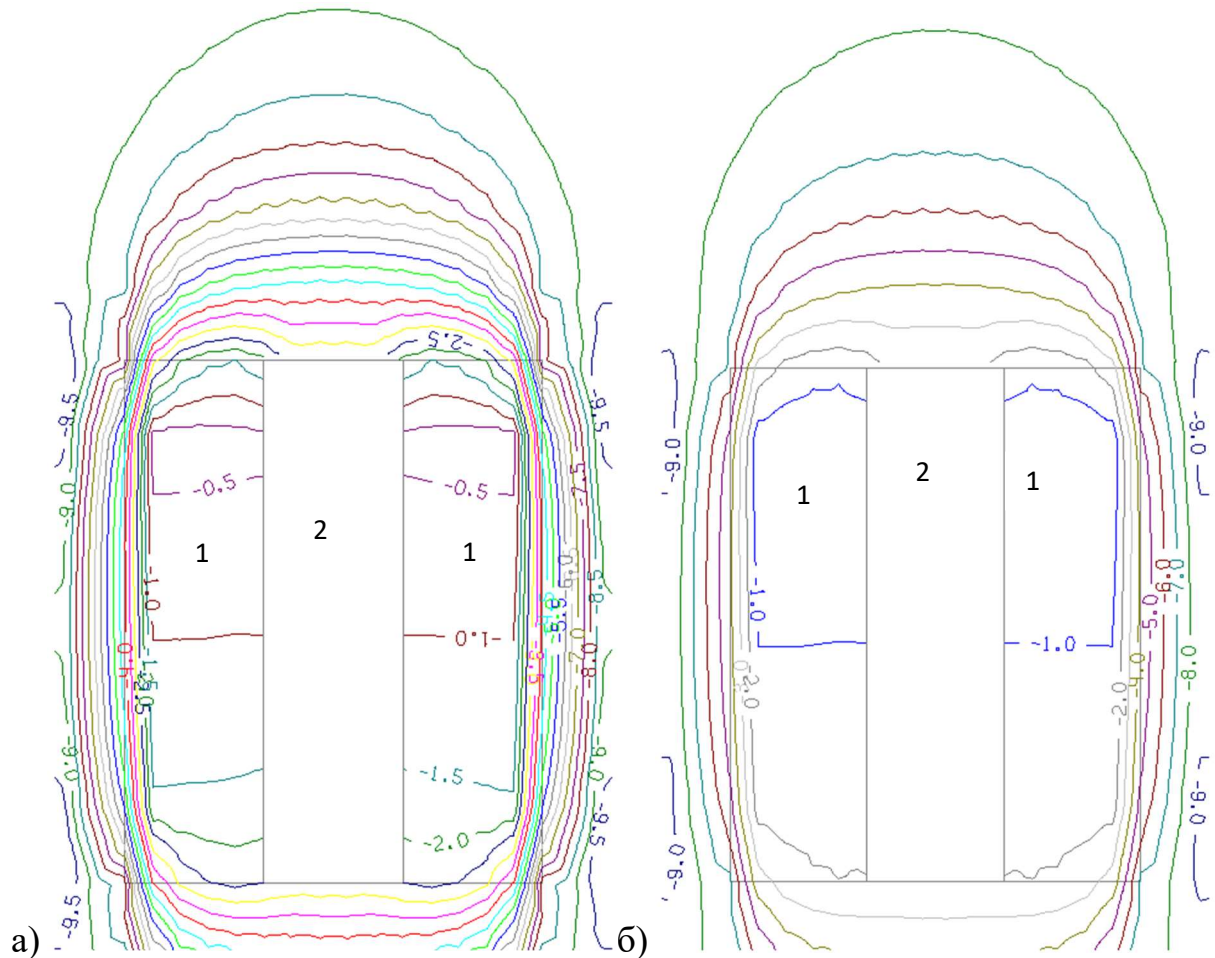


Рисунок 3.30. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) нижнего этажа в варианте 4 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Все компоненты полного тензора напряжений, полученные в результате моделирования напряженно-деформированного состояния твердеющей закладки 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 приведена в таблице 3.12.

Таблица 3.12. Напряжения на обнажении твердеющего закладочного массива в условиях действия в природном поле исключительно гравитационных сил на момент отработки МКЦ между залеженными камерами (Мпа)

Вариант	После отработки нижнего этажа			После отработки верхнего этажа		
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_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,-1,5	1,5-2	1,5-2	1-1,5

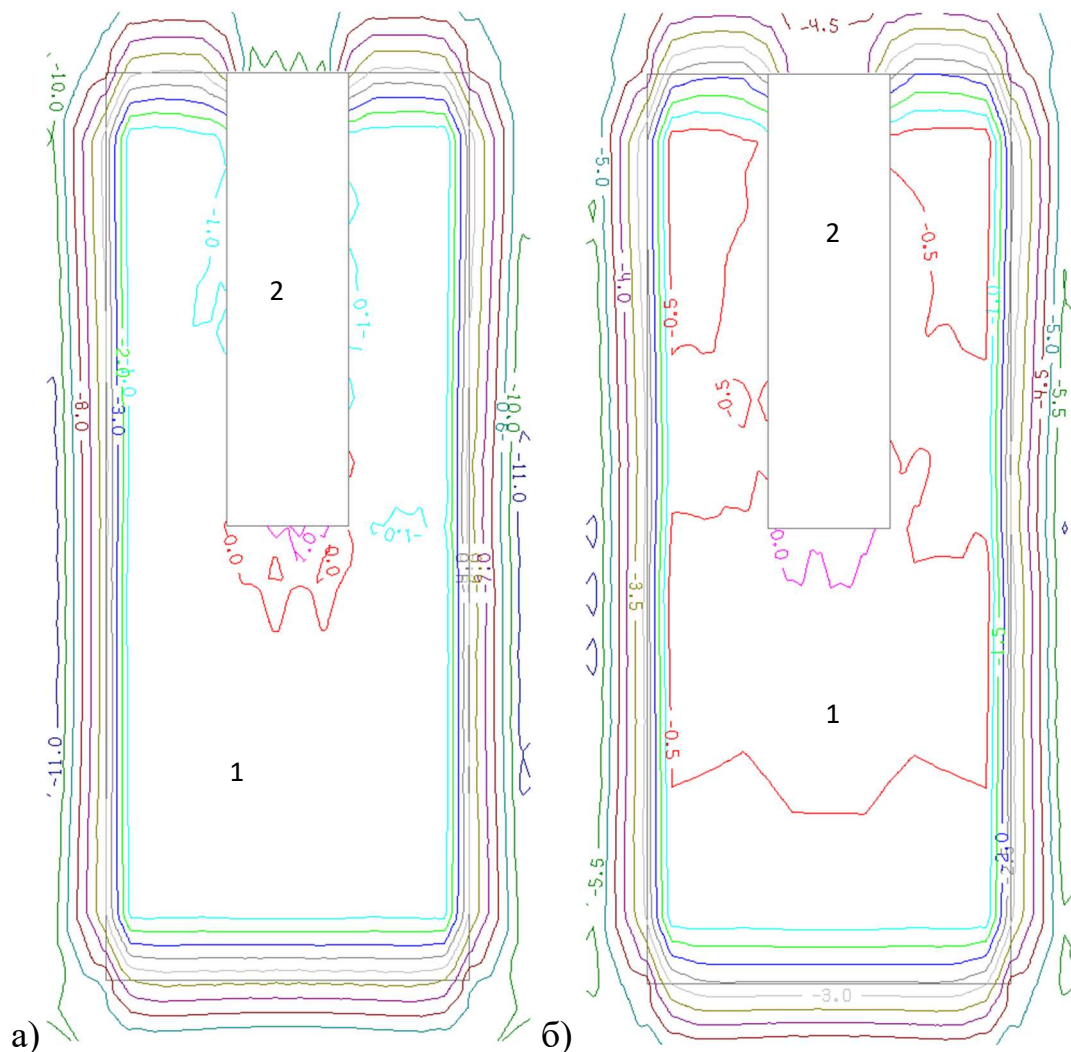


Рисунок 3.31. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_x , действующих вкост простирания рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 4 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

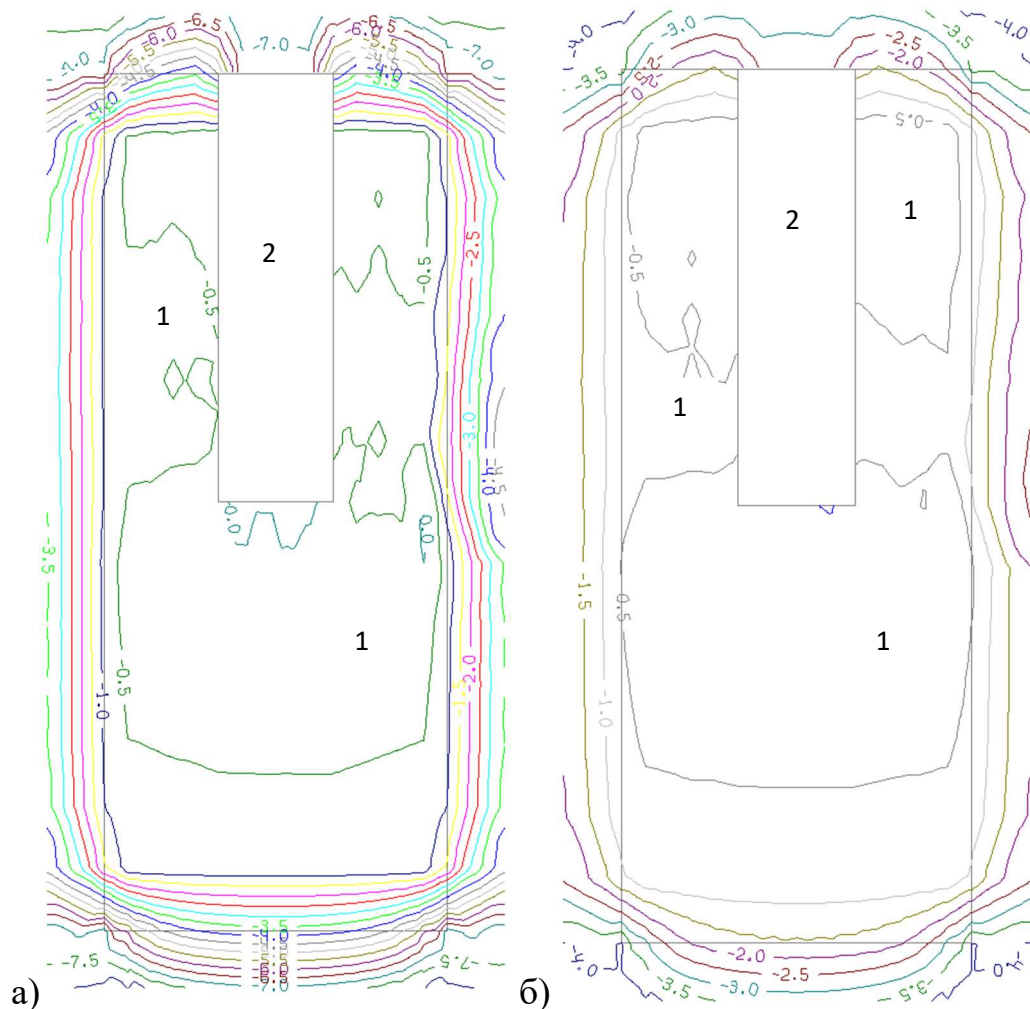


Рисунок 3.32. Распределение изолиний горизонтальных напряжений σ_y , действующих по простиранию рудного тела в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 4 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

Анализ представленных результатов моделирования напряженно-деформированного состояния закладочного и природного массивов позволяет утверждать следующее:

1. Концентрация напряжений в закладочном массиве происходит только в краевой зоне (5-10 м от контура камеры). В остальной части заложеной камеры величина напряжений не превышает 1-2 МПа.

2. Наибольшее негативное воздействие на закладочный массив оказывают горизонтальные напряжения, действующие вкрест простирания рудного тела (σ_x).

3. Уменьшение соотношения «пролет камеры по простиранию рудного тела/ширина МКЦ» приводит к снижению концентрации напряжений в закладочном массиве.

4. При закладке камер необходимо создавать слои повышенной прочности (до 4–5 МПа) под кровлей камеры, на высоту 5–8 м, что позволит как предотвратить разрушение закладки и засорение руды при отработке МКЦ, так и обеспечит возможность передвижения горной техники по закладочному массиву.

5. Остальная часть камеры (порядка 80% по объему) может закладываться смесями, набирающими прочность в пределах 2–3 МПа.

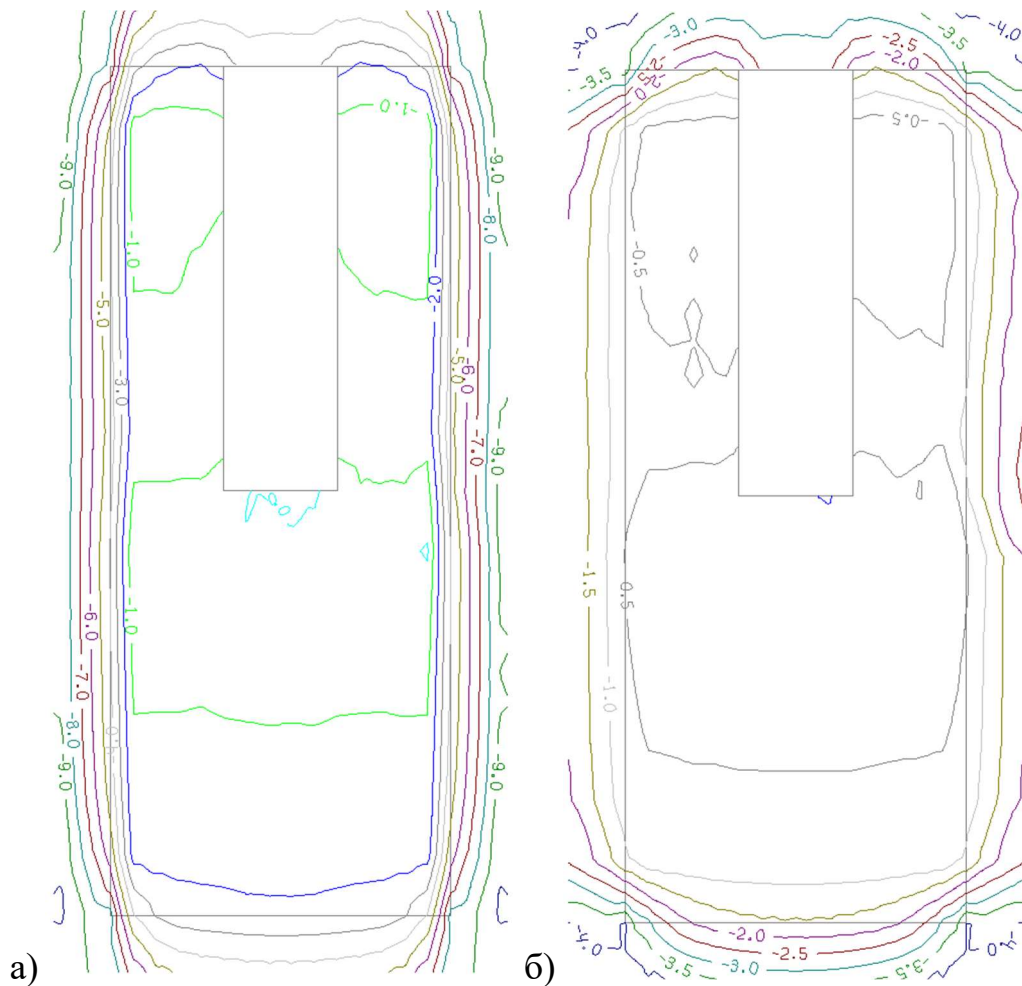


Рисунок 3.33. Распределение изолиний вертикальных напряжений σ_z в твердеющем закладочном массиве (1) после отработки запасов МКЦ (2) вышележащего этажа в варианте 4 между заполненными закладочными смесями в камерах I очереди в условиях действия во вмещающем массиве горных пород гравитационно-тектонического (а) и гравитационного (б) поля напряжений

В качестве нормативной прочности принималась та прочность, которая по расчетам принимает максимальное значение. Расчет параметров напряжения позволил определить нормативную прочность закладки по 4-м вариантам этажно-камерной системы разработки с коэффициентом запаса прочности закладочного массива 1,3 (табл. 3.13).

Таблица 3.13. Средняя нормативная прочность закладочного массива по вариантам систем разработки в камерах

№ варианта	I очереди	II очереди
1	4,15	2,5
2	3,5	3,0
3	2,8	3,5
4	2,5	1

Верхняя часть закладочного массива и днище камер должны заполняться закладочной смесью с прочностью 4,5–5 Мпа.

Таким образом, 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 [56]. Оцененный общий объем формируемых пустот при доработке запасов, предусмотренных первой стадией доработки Тырныаузского месторождения, составляет 9,1 млн м³. Для заполнения этого объема пустот, по выполненной оценке, для приготовления закладочных смесей требуемой нормативной прочности потребуется 7,6 млн м³ лежалых хвостов обогащения, складированных в хвостохранилище №2. Из них требуется 1,5 млн м³ хвостов, накопленных в пляжной зоне, и 5,7 млн м³ из прудковой зоны, что вполне обеспечено запасами хвостохранилища №2.

Более того, остаток накопленных в хвостохранилище запасов техногенного сырья при необходимости может являться ресурсом для закладки выработанного пространства рудника на второй стадии доработки вышележащих запасов месторождения вплоть до выхода к подкарьерным запасам. Расчет нормативной прочности закладки должен быть уточнен до отработки запасов I очереди.

Выполненными исследованиями подтверждено, что для обеспечения эффективного использования техногенного минерального сырья хвостохранилищ, расположенных в природоохранной горной сейсмически опасной местности, необходимо не только понимание возможностей их промышленного применения, но и обоснование адаптивных к условиям освоения месторождения технико-технологических решений по выемке, транспортированию и рациональной утилизации техногенного сырья, в первую очередь, для решения задач разработки месторождений в экологически охраняемых горнопромышленных регионах с обеспечением промышленной, экологической и экономической эффективности доработки месторождений с параллельным решением экологических и природоохранных проблем.

Выводы по 3 главе

1. Предложенная по результатам выполненных исследований концепция доработки Тырнаузского месторождения вольфрамомолибденовых руд 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.

2. Выбор конкретного состава твердеющей закладочной смеси производится в зависимости от мощности дорабатываемых залежей и определенного этим варианта системы доработки запасов месторождения с

применением этажно-камерных систем разработки с двухстадийным порядком выемки запасов в камерах I и II очереди.

3. Показано, что подбор составов твердеющей закладочной смеси следует производить дифференцированно с учетом мощности отрабатываемых залежей и стадийности извлечения камер, а также установленных закономерностей динамики набора прочности закладочной смесью на основе исходных и обожжённых хвостов обогащения прудковой зоны с добавлением при необходимости цемента в установленных пропорциях.

4. Впервые подтверждено, что при отработке 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/м³ смеси в зависимости от длины камеры, при большей мощности залежей для заполнения выработанного пространства камеры II очереди следует применять безцементные смеси на основе обожженных хвостов обогащения, извлеченных из прудковой зоны. Верхнюю часть камер на высоту 5–8 м следует заколнить закладочной смесью нормативной прочностью 4,5 Мпа.

5. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что для заполнения камер II очереди отработки при мощности рудных залежей до 15 м следует производить закладочной смесью на основе обожжённых 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 обожжённых 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/м³ смеси.

6. Анализ представленных результатов моделирования напряженно-деформированного состояния закладочного и природного массивов позволил определить следующее:

– Концентрация напряжений в закладочном массиве происходит только в краевой зоне (5–10 м от контура камеры). В остальной части заложеной камеры величина напряжений не превышает 1–2 МПа.

– Наибольшее негативное воздействие на закладочный массив оказывают горизонтальные напряжения, действующие вкrest простирания рудного тела (σ_x).

– Уменьшение соотношения «пролет камеры по простиранию рудного тела/ширина МКЦ» приводит к снижению концентрации напряжений в закладочном массиве.

– При закладке камер необходимо создавать слои повышенной прочности (до 4–5 МПа) под кровлей камеры, на высоту 5–8 м, что позволит как предотвратить разрушение закладки и засорение руды при отработке МКЦ, так и обеспечит возможность передвижения горной техники по закладочному массиву.

– Остальная часть камеры (порядка 80% по объему) может закладываться смесями, набирающими прочность в пределах 2–3 МПа.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ МЕР ПО ВОВЛЕЧЕНИЮ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ТЫРНЫАУЗСКОГО КОМБИНАТА И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1. Разработка технологической схемы закладки и обоснование состава закладочной смеси для доработки запасов Тырнаузского месторождения

В исследованиях исходили из принятой схемы вскрытия и доработки запасов месторождения, которая разделена на 2 стадии отработки, принят восходящий порядок отработки снизу-вверх. В исследованиях рассмотрены условия для выемки запасов нижнего и вышележащих этажей.

Рассмотренные в проекте доработки запасов Тырнаузского месторождения этажно-камерные системы разработки с двухстадийной выемкой и закладкой выработанного пространства зависят от морфологии рудного тела, она в пределах месторождения меняется в широких пределах, как по мощности, так и по простиранию рудных тел. В связи с этим рассмотрены 4 варианта этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства, применительно к которым определены составы твердеющих закладочных смесей:

– при мощности рудного тела менее 10 м принята для камер первой очереди длина камер 70 м при высоте этажа 75 м. Отработка камер второй очереди принята секциями, длиной по 10 м;

– второй вариант предусмотрен для мощности рудного тела от 10 до 15 м, он характеризуется сокращением длины камер первой очереди до 50 м, второй очереди – до 20 м. Именно такое соотношение длины и ширины камер определяют нормативную прочность закладки, которая и является целью исследований диссертации;

– для 3-го варианта при мощности рудного тела менее 15-20 метров принята длина камер 1-й очереди и 2-й очереди – до 30 метров. Расположение камер во всех трех вариантах – по простиранию, при этажной схеме подготовки запасов;

– для 4-го варианта при мощности рудных тел свыше 20 м, длина камер принята более 20 м, камеры расположены вкрест простирания рудного тела. Ширина камер 1-й и 2-й очередей – до 20 м.

Поскольку принят восходящий порядок отработки запасов и горизонтальной подработки не предусмотрено, нормативная прочность закладки определяется двумя факторами:

– устойчивостью вертикальных обнажений при обнажении закладочного массива камер 1-й и 2-й очередей;

– необходимостью перемещения по закладочной смеси, уложенной в отработанной камере, самоходного оборудования.

Деформационные характеристики закладочного массива не имеют особого значения, потому что запасы расположены так, что над ними нет никаких охраняемых объектов. Формулы для расчета нормативной прочности закладочной смеси:

$$[\sigma_{СЖ}^{бок}] = \frac{\sigma_{max} * K_3 * K_{нер}}{K_{\phi} * K_{дин}} \quad (4.1.)$$

$$[\sigma_{СЖ}^{верх}] = \frac{P}{S} \quad (4.2.)$$

$$\sigma_{изг} = 0,4 [\sigma_{СЖ}] + 1 \quad (4.3.)$$

$$\sigma_{рас} = 0,2 [\sigma_{СЖ}] + 0,1 \quad (4.4.)$$

где σ_{max} – максимальное нормальное напряжение на обнажении, МПа; K_3 – коэффициент запаса прочности, принят 1.5; $K_{нер}$ – коэффициент неравномерности распределения напряжений, принят 1.15; $K_{дин}$ – коэффициент, учитывающий воздействие взрыва, принят 1.15; K_{ϕ} – коэффициент формы = $0.6 + 0.4 * a / h_y$; $\sigma_{СЖ}^{бок}$ – нормативная прочность закладочной смеси по фактору вертикальных обнажений при отработке смежных камер, МПа; $\sigma_{СЖ}^{верх}$ – 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^2 ; $\sigma_{\text{изг}}$ – предел прочности закладочного массива на изгиб, МПа; $\sigma_{\text{рас}}$ – предел прочности закладочного массива на растяжение, МПа.

Следует отметить, что доработка запасов Тырнаузского месторождения с применением закладки выработанного пространства осложняется ограниченностью и высокой стоимостью цементного вяжущего, поскольку горнопромышленный регион Кабардино-Балкарии расположен в гористой местности и не имеет в непосредственной близости цементного производства. Кроме того, относительно низкая ценность дорабатываемых запасов месторождения предопределяет необходимость подбора более экономичного состава компонентов закладочных смесей. Использование вяжущей активности обожжённых хвостов позволит минимизировать расход цемента и переход на передвижные закладочные комплексы, позволяет существенное сокращение транспортных издержек, что в целом будет способствовать снижению себестоимости добычи вольфрамомолибденовых руд.

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 отработки запасов (табл. 4.1).

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

Более того, остаток накопленных в хвостохранилище запасов техногенного сырья при необходимости может являться ресурсом для

закладки выработанного пространства рудника на второй стадии освоения вышележащих запасов месторождения.

Таблица 4.1. Коэффициент формы для камер I и II очереди отработки по четырем вариантам этажно-камерной системы разработки с закладкой

I очередь					
Вариант системы	Длина камер, м	Ширина камер, м			
		10	15	20	20
1	70	0,97			
2	50		0,87		
3	30			0,76	
4	25				0,73
II очередь					
1	10	0,65			
2	20		0,68		
3	30			0,71	
4	20				0,71

В целом определён расход цемента, расход хвостов, затраты связаны только с извлечением. Экологический эффект, конечно, добавляет эколого-экономическую значимость поставленных проблем. В связи с этим рассчитан экономический эффект на реализацию проекта.

4.2. Оценка экономической эффективности и экологической безопасности технико-технологических решений

Оценка роста совокупного дохода при реализации разработанных в диссертации технико-технологических решений по вовлечению в эксплуатацию складированных в хвостохранилище №2 отходов обогащения руд Тырнаузского месторождения для использования их в составе твердеющих смесей при доработке оставшихся запасов месторождения

приведена на основе сопоставления основных статей капитальных и эксплуатационных затрат при реализации предлагаемых решений на первой стадии отработки запасов в восходящем порядке.

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

$$\begin{aligned} \text{Э}_{\text{эф}} = & K_{\text{уд}} * Q_{p1} + \text{Ц}_{\text{цем}} * \rho_{\text{цем}} * V_{\text{закл}} + c_{\text{ТКМ}} * \Sigma\Delta L * V_{\text{хв}} * \gamma_{\text{хв}} - K_{\text{уд1}} * \\ & * \beta * V_{\text{хв}} * \gamma_{\text{хв}} - \text{Ц}_{\text{эл}} * N * t * T \end{aligned} \quad (4.5)$$

где $K_{\text{уд}}$ – удельные капитальные затраты на строительство закладочного комплекса, руб./т; Q_{p1} – суммарный объем добычи руды для I стадии отработки запасов месторождения, т; $\text{Ц}_{\text{цем}}$ – стоимость 1 кг цемента в Кабардино-Балкарской Республике, руб.; $\rho_{\text{цем}}$ – плотность цемента на приготовление закладочной смеси, согласно проектным решениям принята 1700 кг/м³; $V_{\text{закл}}$ – объем закладочной смеси для заполнения всех сформированных на I стадии отработки запасов пустот, по расчетам – 9,1 млн м³; $c_{\text{ТКМ}}$ – 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 м³; $\gamma_{\text{хв}}$ – плотность хвостов обогащения, 2,2 т/м³; $K_{\text{уд1}}$ – удельные затраты на строительство комплекса по обжигу хвостов вблизи хвостохранилища №2, здание под обжиговую печь уже имеется, руб./м³; β – доля хвостов, которые необходимо подвести обжигу при температуре 750 °С, принята согласно исследования 0,5; $\text{Ц}_{\text{эл}}$ – 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.

Расчет разницы отметок транспортирования хвостов:

$$\begin{aligned} \Sigma\Delta L = & 300 * 1,1 / 0,08 - 225 * 1,1 / 0,05 * 0,25 - 150 * 1,1 / 0,08 * 0,25 - \\ & 75 * 1,1 / 0,08 * 0,25 = 4125 - 1237,5 - 465,3125 - 257,8125 = 2164,375 \end{aligned}$$

где 300 м – высота подъема хвостов к проектируемому закладочному комплексу; 1,1 – коэффициент удлинения трассы; 0,08 – величина руководящего уклона; 225 м – разница отметок размещения закладочного комплекса при отработке первого нижнего закладочного горизонта по

сравнению с проектным его размещением; 150 м, 75 м – разница отметок размещения закладочных комплексов при обработке второго и третьего эксплуатационных горизонтов I стадии обработки; 0,25 – доля распределения запасов по 4-м горизонтам первой очереди.

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

Результаты расчета увеличения совокупного дохода предприятия в случае реализации предлагаемых технико-технологических решений сведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Сводная оценка эффективности технико-технологических решений по использованию хвостов обогащения в закладке выработанного пространства

№ п/п	Составляющие роста дохода/расхода	Сумма, млн руб	Обоснование
1.	Отказ от строительства стационарного закладочного комплекса	22 275 млн руб.	$K_{уд} = 825 \text{ руб./т}$ $Q_{p1} = 27 \text{ млн т}$
2.	Экономия на расход цемента	618 800 млн руб.	$\rho_{\text{це́м}} = 40 \text{ руб./кг}$ $\rho_{\text{це́м}} = 1700 \text{ кг/м}^3$ $V_{\text{закл}} = 9,1 \text{ млн м}^3$
3.	Экономия за счет сокращения длины транспортирования хвостов на закладочный комплекс	544, 24 млн руб.	$c_{\text{ткм}} = 15 \text{ руб./т*км}$ $\Sigma \Delta L = 2,17 \text{ км}$ $V_{\text{хв}} = 7,6 \text{ млн м}^3$ $\gamma_{\text{хв}} = 2,2 \text{ т/м}^3$
4.	Дополнительные затраты на обжиг хвостов	23 408 млн руб.	$K_{уд1} = 4000 \text{ руб./т}$ $\beta = 0,35$ (с учетом заполнения камер 2 очереди необожжённой фракцией) $V_{\text{хв}} = 7,6 \text{ млн м}^3$ $\gamma_{\text{хв}} = 2,2 \text{ т/м}^3$
5.	Дополнительные затраты электростанции на обжиг хвостов обогащения	27,888 млн руб.	$\rho_{\text{эл}} = 4,15 \text{ руб./кВт*ч}$ $N = 40 \text{ кВт}$ (печи объемом 750 л) $t = 20 \text{ ч}$ $T = 350 \text{ сут.}$
6.	Итого:	618 183,4 млн руб.	

Выполненными исследованиями подтверждено, что для обеспечения эффективного использования техногенного минерального сырья хвостохранилищ, расположенных в сложных горно-геологических условиях, необходимо не только понимание возможностей их промышленного применения, но и обоснование адаптивных к условиям освоения месторождения технико-технологических решений по выемке, транспортировке и рациональной утилизации техногенного сырья, в первую очередь, для решения задач разработки месторождений в экологически охраняемых горнопромышленных регионах с обеспечением промышленной, экологической и экономической эффективности доработки месторождений с параллельным решением экологических и природоохранных проблем.

Утилизация лежалых хвостов обогащения руд Тырнаузского месторождения позволит не только существенно сократить затраты на доработку запасов месторождения, но и снизить риски засорения экосреды уникального природоохранного региона за счет полного исключения экологической опасности хранения складированного техногенного сырья в хвостохранилище №2 при его полной ликвидации. Это позволит сохранить водную среду р. Баксан, избежать стока вод и хвостов в случае природных селевых потоков, восстановить природный ландшафт уникального Баксанского ущелья.

Предложенная по результатам выполненных исследований концепция доработки Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд 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. Выбор конкретного состава твердеющей закладочной смеси на основе установленных закономерностей формирования механических свойств производится в зависимости от мощности дорабатываемых залежей и определенного этим варианта системы

доработки запасов месторождения с применением этажно-камерных систем разработки с двухстадийным порядком выемки запасов в камерах I и II очередей.

Реализация предложенных технико-технологических решений будет способствовать ускорению сроков ввода в доработку запасов Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд, играющего ведущую роль в сырьевом балансе страны по данному виду минерально-сырьевых ресурсов, повышению эффективности эксплуатации месторождения и утилизации накопленного в хвостохранилище № 2 техногенного сырья и, в связи с этим, снижению негативного экологического воздействия и риска эксплуатации техногенного объекта в сложных условиях повышенной селеопасности и сейсмоактивности природоохранного горно-промышленного региона Кабардино-Балкарии.

Выводы по 4 главе

1. 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.

2. Реализация предложенных технико-технологических решений будет способствовать ускорению сроков ввода в доработку Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд, играющая ведущую роль в сырьевом балансе страны по данному виду минерально-сырьевых ресурсов, повышению эффективности эксплуатации месторождения и утилизации накопленного в хвостохранилище № 2 техногенного сырья и, в связи с этим, снижению негативного экологического воздействия и риска эксплуатации техногенного объекта в сложных условиях повышенной селеопасности и сейсмоактивности природоохранного горно-промышленного региона Кабардино-Балкарии.

3. 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 его при температуре 750 градусов 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 обожжённых хвостов обогащения прудковой зоны с добавлением при необходимости цемента в установленных пропорциях.

5. Впервые подтверждено, что при отработке 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/м³ 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 обожжённых 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 обожжённых 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^3 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 градусов 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Golik V.I., Komashshenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources Disintegrators. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – P. 143–148.
2. Golik V.I., Rasorenov Y.I., Efremenkov A.B. Recycling of ore mill tailings // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – V. 682. – P. 363–368. DOI: 10.4028.
3. Leaching of heavy metals from abandoned mine tailings brought by precipitation and the associated environmental impact / Ping Wang, Zehang Sun, Yuanan Hu, Hefa Cheng. // Science of The Total Environment. 2019. V. 695. 11 p.
4. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production / O.N. Polukhin, V.I. Komashchenko, V.I. Golik, C. Drebenstedt. – Freib erg. Germany, 2014. – P. 402–413.
5. Аверьянов К.А. Обоснование технологий активной утилизации техногенного сырья при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала // Автореферат кандидатской диссертации. — Магнитогорск, МГТУ, 2012. — 21 с.
6. Ангелов В.А. Обоснование способов подготовки техногенного сырья для эффективного использования при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений // Автореферат кандидатской диссертации. — Магнитогорск, МГТУ, 2012. — 21 с.
7. Артемова О.С. Разработка технологии извлечения вольфрама из лежалых хвостов Джидинского ВМК // Дисс. на соиск. уч. степени к.т.н. – Иркутск, ИГТУ, 2004. – 139 с.
8. Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / А. В. Архипов, С. П. Решетняк; под науч. ред. акад. Н. Н. Мельникова. — Апатиты: КНЦ РАН, 2017. — 175 с.
9. Бадоев А.С. Обоснование технологических параметров управляемого намыва техногенных месторождений // Автореферат кандидатской диссертации. — Владикавказ, СКГМИ (ГТУ), 2018. — 24 с.

10. Баранов В. Ф. Системы сгущения и складирования отвальных хвостов (обзор мировой практики) // Обогащение руд. 2009. № 3. С. 43–48.
11. Башлыкова Т.В. Технологическое обеспечение рационального недропользования / Т.В. Башлыкова // Недропользование XXI век. – 2006. – №1. – С.56-60.
12. Блошенко Т.А. Методология налогообложения организаций при добыче и комплексной переработке минерального сырья // Автореферат докторской диссертации. – М., ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» 2019. – 51 с.
13. Бусырев В. М., Чуркин О. Е. Оценка стоимости запасов и эффективности освоения техногенных месторождений // Горный информационноаналитический бюллетень. 2016. № 6. С. 106–114.
14. Быховский Л. З., Спорыкина Л. В. Техногенные отходы как резерв восполнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 4. С. 15–20.
15. Вайсберг Л.А., Устинов И.Д., Кононов О.В. Современные технологии и оборудование для изучения и переработки отходов горной промышленности / Материалы Всерос. конфер. «Проблемы рационального использования отходов горнодобывающего производства» - М.: Махconference, 2013, с. 86-89.
16. Вашлаев И.И., Харитонов М.Ю., Михайлов А.Г. Геотехнология добычи благородных металлов из техногенных объектов // Первый международный конгресс «ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ СИБИРИ – 2009», Красноярск, 2009, с 47-50.
17. Винокуров, С. Ф. Экологические риски хранения отходов Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината и проблемы их комплексной утилизации [Текст]: монография / С. Ф. Винокуров, О. А. Богатиков, А. Г. Гурбанов, Б. С. Карамурзов, В. М. Газеев, А. Б. Лексин, А. В. Шевченко, С. М. Долов, З. И. Дударов, О. Д. Серегин, В. А. Сычкова. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2018. – 130 с. – 150 экз.

18. Гавришев С.Е., Кольга А.Д., И.А. Пыталев, Якшина В.В., Гапонова И.В., Попова Т.М. Формирование и использование техногенного пространства на основе внешних отвалов для складирования продукта сгущения хвостов обогащения на примере Гайского горнообогатительного комбината // X Международная конференция «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу»: Сборник тезисов конференции / под ред. В.Н. Калмыкова, М.В. Рыльниковой. – Магнитогорск: МГТУ, 2019, – С. 56–58.

19. Гальперин А.М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, Ю.В. Кириченко, А.В. Киянец, А.В. Крючков, 195 В.С. Круподеров, В.В. Мосейкин, В.П. Жариков, В.В. Семенов, Х. Клапперих, Н. Тамашкович, Х. Чешлок. – Москва: Горная книга, 2012 – 336с.

20. Гальперин А.М. Управление состоянием намывных массивов на горных предприятиях. М.: Недра, 1988. – С. 15–69.

21. Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями. Ответственный редактор доктор технических наук С.М. Ткач - Новосибирск академическое издательство “ГЕО” - 2013, 308 с.

22. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Масленников С.А. Охрана природной геологической среды утилизацией хвостов обогащения руд // Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов – 2015, Т. 326, № 6, С. 6–15.

23. Гончарова Л.И., Ларичкин Ф.Д., Переин В.Н. Потенциал техногенного минерального сырья в России и проблемы его рационального использования // ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА // 2015, №5 (41) с. 104-115

24. Горлова О.Е. Развитие научно-методологических основ технологии переработки горнопромышленных отходов // Дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. — Магнитогорск, МГТУ, 2020. — 375 с.

25. Горная энциклопедия. М.: Советская Энциклопедия, 1986. Т. 2. 575 с.
26. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала) / И.В. Шадрунова, Е.В. Зелинская, Н.А. Волкова, Н.Н. Орехова // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017): материалы междунар. науч. конф. Красноярск, 12-15 сентября 2017 г. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. С.15-21.
27. Денисов М.Н., Шуленина З.М. Использование забалансовых руд цветных металлов и их техногенных отходов с учетом охраны окружающей среды / Разведка и охрана недр. - 1989. - № 2.С.44-47
28. Джаваршеншвили А.Г. Гидротранспортные системы горно-обогатительных комбинатов – М.: Недра, 1973, 352 с.
29. 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.
30. Джаппуев Р.К., Цупкина М.В. Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию лежалых отходов переработки многокомпонентных руд Тырнаузского месторождения // Известия тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 4. — Тула. Издательство ТулГУ. 2021. С. 86–96..
31. 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.
32. Залиханов М.Ч. Противоселевая защита г. Тырнауза от затопления // Труды Всероссийской конференции по селям 26–28 октября 2005. М.:URSS, 2005. С. 283–288.

33. Зотеев О.В. Учет последовательности ведения горных работ при оценке устойчивости конструктивных элементов разработки //Известия УГГГА. Сер.: Горное дело. – 2000. – Вып. 11. С. 220–226.
34. Кавчик Б.К. О методике разведки и о «скелетах в шкафу» / Золотодобыча, 2013, № 6. С. 12-15.
35. Калмыков В. Н., Зотеев О. В., Зубков А. А., Гоготин А. А., Зубков А. А. Опытные-промышленные испытания технологии закладки выработанного пространства учалинского карьера отходами обогатительного передела. Научная статья / Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Екатеринбург, 2013.
36. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. // Проектирование формирования и развития горнотехнических систем при комбинированной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015. - S 1-1. С. 229-240.
37. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Абдрахманов И.А. Перспективы повышения полноты и комплексности освоения месторождений // Недропользование-21 В, 2009. - № 3. –С.28-32.
38. Кибирев В. И., Райлян Г. А., Сазонов Г. Т. Гидравлическое складирование хвостов обогащения: справочник. М.: Недра, 1991. 207 с.
39. Кириченко Ю. В., Зайцев М. П., Кравченко А. Н. Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 7. С. 116–124.
40. Козин В.З. Опробование минерального сырья – Екатеринбург, УГТУ, 2011, 315 с.
41. Козин В.З., Водовозов К.А. Расчет массы хвостов на обогатительных фабриках / Матер. XVIII междунар. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» - Екатеринбург: Таилс, 2013. – С. 3-5.
42. Котова О.Б. Интервенция минералогии в технологии переработки труднообогатимых полезных ископаемых / О.Б. Котова, Е.Г. Ожогина, А.А.

Рогожин // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017): материалы междунар. науч. конф. Красноярск, 12-15 сентября 2017 г. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – С. 10- 13.

43. Красносельский Э.Б., Архипов А.Б. Принципы определения технологических параметров отработки мелкоструктурных техногенных месторождений // Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых и освоения выработанного пространства Северо-Запада России. Материалы Международной научной конференции, посвященной 275-летию образования Российской академии наук: в 3-х частях. Горный институт КНЦ РАН. 2001. Издательство: Кольский научный центр РАН (Апатиты). – С.43-58.

44. Лаптев Ю.В., Обоснование оптимальной высоты слоя техногенного образования, имеющего промышленную ценность для его эффективной отработки / Лаптев Ю.В., Титов Р.С., Сельменская И.Г. // Матер. XVIII междунар. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» - Екатеринбург: Таилс, 2013. – С. 11-16.

45. Лихникевич Е.Г. Новые гидрометаллургические технологии переработки вторичного литийсодержащего сырья / Е.Г. Лихникевич, Н.В. Петрова, С.И. Ануфриева // Минерально-сырьевая база черных, легирующих и цветных металлов России и стран СНГ: проблемы и пути развития: тр. междунар. конф. Москва, 27–29 ноября 2007 г. – М., 2007. – С. 223–224.

46. Материалы XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу». – Магнитогорск: МГТУ, – 2021, – С. 168–170.

47. Матюшенко Г.А. Разработка технологии формирования и комплексного освоения техногенных месторождений на основе отходов переработки медноколчеданных руд // Автореферат кандидатской диссертации. — Магнитогорск, МГТУ, 2006. — 20 с.

48. Методология расчета горного давления /Кузнецов С.В., Одинцев В.Н., Слоним М.Э., Трофимов В.А. – М.: Наука, 1981. – 103 с

49. Милкин Д.А. Обоснование параметров минерально-сырьевых потоков при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений // Автореферат кандидатской диссертации. — М.: МГГУ, 2009. — 20 с.

50. Модельный закон «Об отходах производства и потребления» (новая редакция). / Принят на 29-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ (Постановление № 29–15 от 31.10.2007 г.).

51. Мормилъ С.И., Сальников В.Л., Амосов Л.А., Хасанова Г.Г., Семячков А.И., Зобнин Б.Б., Бурмистренко А.В. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / Под ред. Ю.А. Боровкова. – Екатеринбург: НИА–Природа, ДПР по Уральскому региону, АОТ «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Геологическое предприятие «Девон», 2002. – 206 с.

52. Немчинова Н.В., Шумилова Л.В., Салхофер С.П., Размахнин К.К., Чернова О.А.

53. Оганесян Э.Х. Исследование влияния технологических параметров на формирование намывного техногенного месторождения // Автореферат кандидатской диссертации. — Владикавказ, СКГМИ (ГТУ), 2018. — 24 с.

54. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49.

55. Опыт и перспективы применения современных технологий переработки бедных труднообогатимых руд / С.И. Ануфриева, Е.С. Броницкая, Э.Г. Литвинцев, Е.Г. Ожогина, Н.В. Петрова, А.А. Рогожин, В.Н. Соколова // Разведка и охрана недр. – 2011. – №5. – С.70-75.

56. Отаров К.М. Разработка и обоснование устойчивых параметров конструктивных элементов выемки высокогорных месторождений открыто-

подземным способом. Диссертация на соиск. уч. ст. канд. техн. наук – Владикавказ, 1999.

57. Открытые горные работы / Справочник. Под редакцией Трубецкого К.Н. и др. Москва: Горное бюро, 1994. — 590 с.

58. Оценка воздействия техногенных образований из отходов переработки многокомпонентных руд на экосистемы горнопромышленных регионов / Рыльникова М. В., Радченко Д. Н., Цупкина М. В., Кирков А.Е. // Известия тульского государственного университета. Науки о земле. 2020. Вып. 3. С. 5-17.

59. Попов М. С. К вопросу об эффективности освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2011. № 9. С. 262–264.

60. Пуневский С. А., Лазарева М. А., Тавостин М. Н. Результаты определения прочностных характеристик техногенных отложений гидроотвала «Берёзовый лог» на приборе компрессионного типа стабилометре УСВ-2 // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 7. С. 97–100.

61. Радченко Д. Н., Цупкина М. В., Джапшув Р.К. Результаты эколого-экономической оценки перспективности эксплуатации складированных в Пластовском районе отходов переработки золотосодержащих руд // Сб. науч. тр. II Всероссийской науч.-практ. конф. «Золото. Полиметаллы. XXI век»: — М.: ИПКОН РАН, 2020. С. 65-67.

62. Радченко Д.Н. Разработка комбинированной геотехнологии освоения месторождений медно-колчеданных руд с комплексным использованием отходов их переработки // Автореферат кандидатской диссертации. — Магнитогорск, МГТУ, 2004. — 19 с.

63. Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Джапшув Р.К. Эколого-экономическая оценка техногенных минеральных образований для обеспечения устойчивого развития горнопромышленной индустрии // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – С. 303-315.

64. Рыльникова М. В., Радченко Д. Н., Цупкина М. В., Кирков А.Е. Оценка воздействия техногенных образований из отходов переработки многокомпонентных руд на экосистемы горнопромышленных регионов // Известия тульского государственного университета. Науки о земле. 2020. № 3. – С. 5-17.
65. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Экс В.В. Классификация техногенных георесурсов в свете перспектив комплексного освоения рудных месторождений / Горный информационно-аналитический бюллетень. - № 2-2012. – С.318-324.
66. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.В. Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию отходов переработки руд Тырныаузского месторождения // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2021. Вып. 4. – С: 86–96.
67. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.В., 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. 110-123.
68. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Энергоэффективные и безопасные технологии разведки и разработки техногенных образований. принципы проектирования технологических схем // Журнал "Горная Промышленность" №3 (139) 2018, с.86.
69. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Сафонов В.А.. Исследование экологического воздействия Новотроицкого хвостохранилища на растительный покров и живые организмы // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2020. Вып. 1. – С: 208-220.
70. 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.
DOI 10.26121/RON.2021.73.45.001

71. Секисов Г. В., Зыков Н. В. Освоение минеральных объектов и методология оценки. М.: Горная книга. 2012. 43 с.

72. Селезнев С. Г., Степанов Н. А. Отвалы Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения как новый геолого-промышленный тип техногенных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 32–40.

73. Терентьева И В Обоснование параметров комплексного освоения запасов законсервированного Жезказганского хвостохранилища // Автореферат кандидатской диссертации. — Магнитогорск, МГТУ, 2016. — 18 с.

74. Термины и понятия отечественного недропользования: словарьсправ. / А.И. Кривцов, Б.И. Беневольский, В.М. Минаков, И.В. Морозов / Под ред. Б.А. Яцкевича / ЗАО «Геоинформмарк». — М., 2000.

75. Технологические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламоохранилищ / А. Г. Шарапов, П. И. Копач, Л. В. Якубенко, Б. С. Гулямов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 9. С. 259–267.

76. Технология обогащения медных и медно-цинковых руд Урала / Е.Г. Ожогина, Е.А. Горбатова, Г.И. Газалеева, И.В. Шадрунова, Л.А. Немчинова, О.Е. Горлова и др. / под общ. ред. акад. РАН В. А. Чантурия и докт. техн. наук И. В. Шадруновой. – Москва: Наука, 2016. – 387 с.

77. Трубецкой К.Н. Развитие новых направлений в комплексном освоении недр. М.: ИПКОН РАН, 1990. -11 с.

78. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли // Новосибирск: Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2012. — № 4. — С. 116–124.

79. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Новые подходы к проектированию ресурсовоспроизводящих технологий комплексного освоения рудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2011. -№3. –С.68-76.
80. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Оценка ресурсного потенциала природных и техногенных месторождений медно-колчеданных руд Урала в связи с перспективами комплексного извлечения цветных, редких и благородных металлов / В кн. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России. Под ред. академика К.Н. Трубецкого, академика В.А. Чантурия, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. –М.: ИПКОН РАН, 2008. – С.86-89.
81. Туманова Е. С., Туманов Р. Р. Минеральное сырье. Сырье техногенное: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 44 с.
82. Туманова Е. С., Цыбизов А. Н., Блоха Н. Г. и др. Техногенные ресурсы минерального строительного сырья. М.: Недра, 1991. 288 с.
83. Физико-химические основы теории флотации /Сб. под общ. редакцией Б.Н. Ласкорина – М., Наука, 1983, 264 с.
84. Фоменко А.А. Использование техногенных скоплений и забалансовых руд цветных металлов в контексте экономики природопользования // Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 89–94.
85. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1975. 288 с.
86. Ходорович К.Н. Вопросы нормативного регулирования разработки месторождений и обращения с отходами горнодобывающей промышленности / Материалы Всерос. конфер. «Проблемы рационального использования отходов горнодобывающего производства» - М.: Махconference, 2013, с. 2-6.
87. Холодняков Г. А., Аргимбаев К. Р., Иконников Д. А. Исследование устойчивости уступа, сложенного сыпучим материалом, при его отработке

гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2011. № 9. С. 114–117.

88. Холодняков Г. А., Аргимбаев К. Р., Иконников Д. А. Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищ // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2009. № 5. С. 82–84.

89. Чантурия В.А. Новые технологические процессы комплексного извлечения ценных компонентов из минерального сырья: современное состояние и основные направления развития / В.А. Чантурия // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49. – №3. – С.235-242.

90. Чантурия В.А. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья / В.А. Чантурия, А.П. Козлов // Горный журнал. – 2014. – №7. – С. 79-84.

91. Чернегов Ю. А. Методы изучения и освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2009. № 3. С. 371–375.

92. Шадрунова И.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование низкотемпературных процессов выщелачивания некондиционных медьсодержащих гересурсов // Дисс. соиск. уч. ст. докт. техн. наук. Москва, 2003. -289 с.

93. Шамырканов У.М. Классификация хвостохранилищ Кыргызстана // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты – 2010, №3, с41-48.

94. Швецов Н.С. Разработка методики обоснования параметров горнотехнических систем с намыюными сооружениями при освоении железорудных месторождений // Автореферат кандидатской диссертации. — Магнитогорск, МГТУ, 2013. — 20 с.

95. Шелагуров В. В. Техногенные месторождения, методы их изучения и оценки // Отечественная геология. 1996. № 2. С. 34–42.

96. Экологические риски хранения отходов Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината и проблемы их комплексной

утилизации [Текст]: монография / С. Ф. Винокуров, О. А. Богатиков, А. Г. Гурбанов, Б. С. Карамурзов, В. М. Газеев, А. Б. Лексин, А. В. Шевченко, С. М. Долов, З. И. Дударов, О. Д. Серегин, В. А. Сычкова; под ред. С. Ф. Винокурова. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2018. 130 с.

97. Этезов И. К. Обоснование технологии управления состоянием прикарьерного массива при разработке месторождений комбинированным открыто-подземным способом. – Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук – Владикавказ, 2004.

98. Юн А.Б. Разработка и обоснование параметров горнотехнической системы комплексного освоения Жезказганского месторождения в условиях восполнения выбывающих мощностей рудников // Автореферат докторской диссертации. — М.: МИСиС, 2016. — 30 с.

99. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / Под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. — Екатеринбург: УрО РАН, 2018. — 360 с.

100. Якушина О. А., Ожогина Е. Г., Хозяинов М. С. Микротомография техногенного минерального сырья // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3. С. 38–43. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2015-11-38-43>.