

*На правах рукописи*



**ОЛЕЙНИК ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ  
ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО  
УПРАВЛЕНИЮ ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ  
В ПРОЕКТАХ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальности

2.8.8. Геотехнология, горные машины

2.8.7. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Магнитогорск – 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» на кафедре Разработки месторождений полезных ископаемых.

**Научный руководитель:**

Рыльникова Марина Владимировна – профессор, доктор технических наук,

**Официальные оппоненты:**

Корнилов Сергей Викторович – профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН», г. Екатеринбург.

Тюленев Максим Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой открытых горных работ ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.

**Ведущая организация:**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (СФУ), г. Красноярск.

Защита диссертации состоится «17» января 2025 г. в 10 час 00 мин на заседании диссертационного совета 24.2.324.06 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, малый актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»: <http://www.magtu.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета доктор технических наук

 С.Н. Корнилов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** В соответствии с Законом РФ «О недрах» природные ресурсы недр включают как непосредственно полезные ископаемые, так и отходы производства. Рациональное освоение и охрана недр – базовый, законодательно закрепленный принцип российского недропользования, осуществление которого должно быть заложено на стадии проектирования освоения природных и техногенных образований и реализовываться на основе широкого внедрения малоотходных и ресурсосберегающих геотехнологий. Неотъемлемым элементом рационального освоения недр является их комплексное использование, предполагающее наиболее полное извлечение полезных ископаемых из недр и ценных компонентов из природного и техногенного минерального сырья, обеспечение утилизации отходов горнодобывающих и перерабатывающих производств в выработанных пространствах недр, формируемых открытыми и подземными горными работами, или в иных целях.

Известно, что накопленные отходы недропользования содержат полезные компоненты в количествах, зачастую близких к промышленному значению, и могут быть рентабельно вовлечены в повторную переработку. Это позволяет рассматривать техногенное минеральное сырье в качестве потенциального источника минеральных ресурсов техногенного происхождения, способных в ближайшей перспективе в определенной степени возместить дефицит минерального сырья и пополнить минерально-сырьевую базу черных, цветных, драгоценных, редких металлов, других попутных элементов.

Стратегическое значение комплексного освоения ресурсов недр, в частности рудных месторождений, предопределяет актуальность развития научно-методических основ технологических решений по управлению отходами недропользования при освоении техногенных минеральных георесурсов. Необходимость такого подхода также обусловлена негативным воздействием складированных отходов на окружающую среду. Эффективное вовлечение в разработку техногенных георесурсов возможно на основе целенаправленного управления ими на этапах освоения базовых природных месторождений путем технологического воздействия на образующееся в процессе горных работ техногенное минеральное сырьё и выработанные пространства в недрах Земли. В связи с этим, одной из насущных проблем современной горнодобывающей промышленности и горной науки является формирование и освоение техногенных минеральных образований с заданными технологическими характеристиками сырья для его последующего эффективного использования.

Таким образом, при разработке техногенных образований на основе комплексного использования минерального сырья достигается решение двух

глобальных задач: получение дополнительного минерального сырья и снижение негативного техногенного воздействия на окружающую среду за счет вовлечения в оборот отходов горного производства. Актуальность научного обеспечения для решения этих задач очевидна.

**Целью работы** является развитие научно-методических основ принятия технологических решений по управлению отходами недропользования для сокращения объемов накопления техногенных георесурсов на земной поверхности и повышения эффективности проектов комплексного освоения рудных месторождений.

**Идея работы** заключается в выборе технологических схем эксплуатации техногенных образований в комплексе с проектными решениями по освоению базовых рудных месторождений на основе учета закономерностей изменения вещественного состава, технологических свойств и физико-механических характеристик техногенного сырья в ходе складирования и хранения.

Для достижения поставленной цели и реализации выдвинутой идеи были сформированы и впоследствии реализовано решение следующих задач:

- анализ мировой практики использования техногенного сырья при комплексном освоении рудных месторождений с использованием накопленного и формируемого техногенного сырья;

- анализ отечественной нормативно-правовой базы по обращению с отходами недропользования;

- исследование специфики свойств различных видов техногенного рудного сырья для обоснования технологических решений по его промышленному использованию;

- оценка факторов и их влияния на выбор технологических решений по эксплуатации техногенных рудных образований в комплексе с освоением природных рудных месторождений;

- разработка научно-методических и практических рекомендаций по повышению эффективности и обеспечению экологической сбалансированности освоения рудных месторождений с оценкой экономической эффективности реализации разработанных технологических решений.

**Основные научные положения**, сформулированные в работе, заключаются в следующем:

1. Развитие научно-правовых основ управления отходами должно базироваться на гармонизации понятийного и терминологического аппарата в действующих правовых нормах с международной практикой со снятием ограничений и расширением хозяйственных инициатив горнодобывающих предприятий по вовлечению в эксплуатацию отходов их производственной деятельности с введением дополнительных гарантий и стимулирующих мер для снижения объемов накопления отходов на поверхности горных отвалов.

2. Выбор технологических схем формирования и эксплуатации техногенных образований должен быть обязательной составляющей технического проекта на разработку месторождения твердых полезных ископаемых и производиться по критерию максимума сравнительного совокупного дохода от комплексного использования природных и техногенных георесурсов за период освоения лицензионного участка недр с учетом риска реализации проектных решений.

3. Принятие в техническом проекте решения о приоритетном направлении использования лежалого или текущего техногенного сырья предполагает оценку его вещественного состава, физико-механических и технологических свойств с установлением закономерностей их распределения в техногенном объекте с целью поиска и изыскания эффективных технологий добычи техногенного сырья и доизвлечения из него ценных компонентов, или реализации иных направлений утилизации отходов недропользования.

4. При наличии доказательной базы по отсутствию технологических возможностей эффективного извлечения ценных компонентов из сформированных отходов недропользования должны быть дополнительно оценены технологии добычи, рециклинга и утилизации отходов в целях управления состоянием массива горных пород при открытой или подземной разработке месторождения, дорожного и промышленного строительства, рекультивации территорий и формирования благоприятного природно-техногенного ландшафта и в иных целях увеличения дохода горнодобывающего предприятия.

#### **Новизна научных и практических результатов:**

1. Алгоритм и методика выбора технологической схемы формирования и эксплуатации техногенного образования при комплексном использовании природных и техногенных георесурсов, базирующиеся на оценке совокупного дохода за период освоения месторождения с комплексным использованием природного и техногенного минерального сырья с учетом факторов риска реализации проектных решений.

2. Уточнение понятийного и терминологического аппарата в сфере обращения и управления отходами горнодобывающего комплекса в законодательной базе недропользования в России в интересах гармонизации международной практики эксплуатации техногенных образований с созданием дополнительных оптимизационных мер по вовлечению техногенного сырья в эксплуатацию и снятию ограничений, что будет способствовать росту заинтересованности предприятий в комплексном использовании отходов недропользования и снижении объемов их накопления на поверхности горных отводов.

3. Методика обоснования параметров технологии формирования вяжущей активности отходов недропользования для обеспечения управления состояни-

ем подрабатываемой системой с твердеющей закладкой, базирующаяся на установлении методом термогравиметрического анализа пиковых закономерностей кривых потери массы отходов в ходе обжига, вещественном и минералогическом анализе техногенного сырья, результатах практических исследований его технологических свойств.

4. Механизм районирования массива хвостохранилища по факторам гипергенеза и изменения физико-механических характеристик, позволяющий выбрать приоритетные технологические схемы эксплуатации техногенных образований, представленных лежалыми старогодними отходами обогащения многокомпонентных сульфидных руд.

**Объект исследований:** техногенные образования, сосредоточенные в отвалах, хвостохранилищах и складах и используемые в качестве дополнительных источников минерального сырья.

**Предмет исследования:** технологии по управлению отходами недропользования для снижения нагрузки на окружающую среду в проектах комплексного освоения рудных месторождений.

**Методы исследования.** Использован комплекс современных методов исследования, включающих анализ и обобщение достижений науки, техники и практики освоения и переработки техногенных георесурсов, опыта отечественных и зарубежных исследований; методику определения физико-механических и технологических свойств рыхлых и скальных пород вскрыши; статистическую обработку данных; технико-экономический анализ результатов реализации технологических решений. Основу теоретической и методической базы составили авторитетные мнения, отраженные в различного рода экспертных заключениях и диссертационных работах, авторские методические исследования, лабораторные и опытно-промышленные шахтные эксперименты, научные публикации в отраслевых журналах, выступления на тематических конференциях и пр.

Информационно-эмпирическая база исследования была сформирована на основе данных об освоении рудных месторождений: Сибайское, Тырныаузское, Новотроицкое, а также данных о состоянии и вещественном составе одноименных хвостохранилищ.

**Достоверность результатов** обеспечена обобщением предшествующих научных достижений, достаточным объемом лабораторных экспериментов, использованием признанных методов исследований и сертифицированных программных продуктов, сопоставимостью результатов аналитических расчетов, разработкой расчетных схем по выбору параметров технологий эксплуатации сопутствующих техногенных образований в проектах комплексного освоения рудных месторождений.

**Практическая новизна диссертационного исследования** заключается в разработке и реализации практических технико-технологических рекомендаций по повышению эффективности и обеспечению экологической сбалансированности освоения рудных месторождений в комплексе с эксплуатацией существующих техногенных образований в единой геотехнологическом цикле.

**Научная значимость** исследований состоит в том, что впервые обоснованы параметры и условия реализации экологически сбалансированного цикла комплексного освоения рудных месторождений и сопутствующих техногенных образований на основе установления закономерностей взаимосвязи основных характеристик рудного техногенного сырья для обеспечения его вовлечения в эксплуатацию в едином завершённом геотехнологическом цикле.

Разработанные принципы нормативно-правового регулирования совместной эксплуатации природного и техногенного рудного сырья обеспечат снижение нагрузки на окружающую среду и будут способствовать улучшению экологического состояния среды обитания человека.

**Реализация выводов и рекомендаций.** Основные положения диссертационной работы использованы при разработке проектных решений по отработке Сибайского, Тырныаузского, Новотроицкого хвостохранилищ, совокупный эффект от реализации которых превышает 10 млрд рублей.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач исследования и определении путей их решения, в формулировании основной идеи для достижения поставленной цели, выявлении основных факторов, определяющих полноту, интенсивность и качество эксплуатации техногенных рудных образований, в разработке научно-методических основ, уточнении и гармонизации терминологического аппарата по обращению и управлению отходами недропользования, совершенствованию правовой и научно-технологической базы проектирования и эксплуатации техногенных металлосодержащих образований в комплексе с разработкой базовых месторождений, практических рекомендаций по повышению эффективности и обеспечению экологической сбалансированности освоения рудных месторождений, что будет способствовать снижению объемов накопления на земной поверхности отходов недропользования, экологизации горно-промышленных территорий и повышению полноты и комплексности освоения рудных месторождений.

Проведенные исследования составляют теоретическую базу для дальнейшего развития научно-методических основ в свете обращения и использования отходов недропользования в комплексе с проектированием и эксплуатацией базовых рудных месторождений.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на научных семинарах, научно-технических советах, международных конференциях, научно-практических и выездных совещаниях: совещаниях в Роснедра с участием представителей недропользователей, научного сообщества и проектных организаций (2022-2024 гг.); XI международной конференции «Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр», г. Магнитогорск, 2021; III, IV Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие», г. Челябинск, 2022, 2024; XII международной конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых», г. Магнитогорск, 2023; совещаниях на объектах диссертационного исследования в г. Сибай (Башкортостан), г. Тырнауз (Кабардино-Балкария), г. Челябинск.

**Публикации.** Результаты проведенных исследований были опубликованы в 7 научных работах, в том числе в 5 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 179 страницах машинописного текста и списка литературы из 150 наименований, содержит 21 рисунок, 28 таблиц и 13 формул.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена обобщению мирового опыта обращения и использования отходов недропользования, задачам и перспективам совершенствования научно-методических основ и технологических решений по управлению отходами недропользования при проектировании горных работ.

Рассмотрены технологии добычи и переработки отходов горнодобывающих предприятий в качестве техногенных минеральных георесурсов, а также определена проблематика технологических решений по рациональному недропользованию и комплексному использованию минерального сырья. Решению данных актуальных проблем посвящены работы известных ученых: академиков К.Н. Трубецкого, В.А. Чантурия, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова, В.Л. Яковлева, д.т.н. А.И. Арсентьева, А.В. Архипова, В.И. Голика, О.Е. Горловой, В.Н. Калмыкова, В.А. Кныш, С.В. Корнилкова, Ф.Д. Ларичкина, И.А. Пыгалева, С.П. Решетняка, М.В. Рыльниковой, С.М. Ткача, В.Н. Уманца, С.И. Фомина, Г.А. Холоднякова, И.В. Шадруновой, к.т.н. Н.В. Пашкевича, А.М. Пешкова, Д.Н. Радченко и многих других исследователей.

В технических проектах на разработку рудных месторождений лишь в единичных случаях предусматривается вовлечение в эксплуатацию отходов горного производства. При этом, на поверхности Земли накоплено огромное количество техногенных образований.

Обобщение опыта обращения с отходами недропользования в зарубежных странах, в настоящий момент, показало более высокую степень вовлечения техногенного сырья в хозяйственный оборот, чем в России. Программы переработки техногенного сырья приняты в подавляющем большинстве развитых зарубежных стран, которые следуют политике сбережения минерально-сырьевой базы за счет развития технологий по переработке и утилизации отходов горнодобывающего производства.

Создание малоотходных технологий предполагает извлечение их руд всех ценных компонентов, переработку и утилизацию отходов недропользования и последующее использование вторичных отходов в горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях народного хозяйства.

Выполненные работы и современные научные исследования в области обращения с отходами горно-обогатительного производства указывают, что промышленному внедрению геотехнологий формирования и разработки техногенных образований препятствует несовершенство отечественного нормативно-правового и налогового законодательства в сфере обращения с отходами недропользования и отсутствие апробированных методик выбора технологий по управлению металлосодержащим техногенным сырьем. Это и определило выбор цели и задач диссертации, а также методов их достижения.

*Во второй главе* представлены принципы совершенствования правовой и научно-методической базы обращения и управления отходами недропользования. Отмечена важность гармонизации терминологических понятий в законодательной базе по обращению с отходами недропользования, поэтому обобщены и уточнены понятия, связанные с обращением и использованием отходов недропользования, задействованные в вопросе управления техногенным сырьем в свете перспектив комплексного освоения недр.

Разработана классификация минеральных ресурсов и образований (рис. 1) на основе классификационных признаков: по видам процессов формирования техногенных минеральных образований, при освоении месторождений, по отраслям промышленности; по виду формируемых техногенных образований; по виду ценных компонентов, сконцентрированных в техногенном сырье; по условиям содержания и принадлежности техногенных образований.

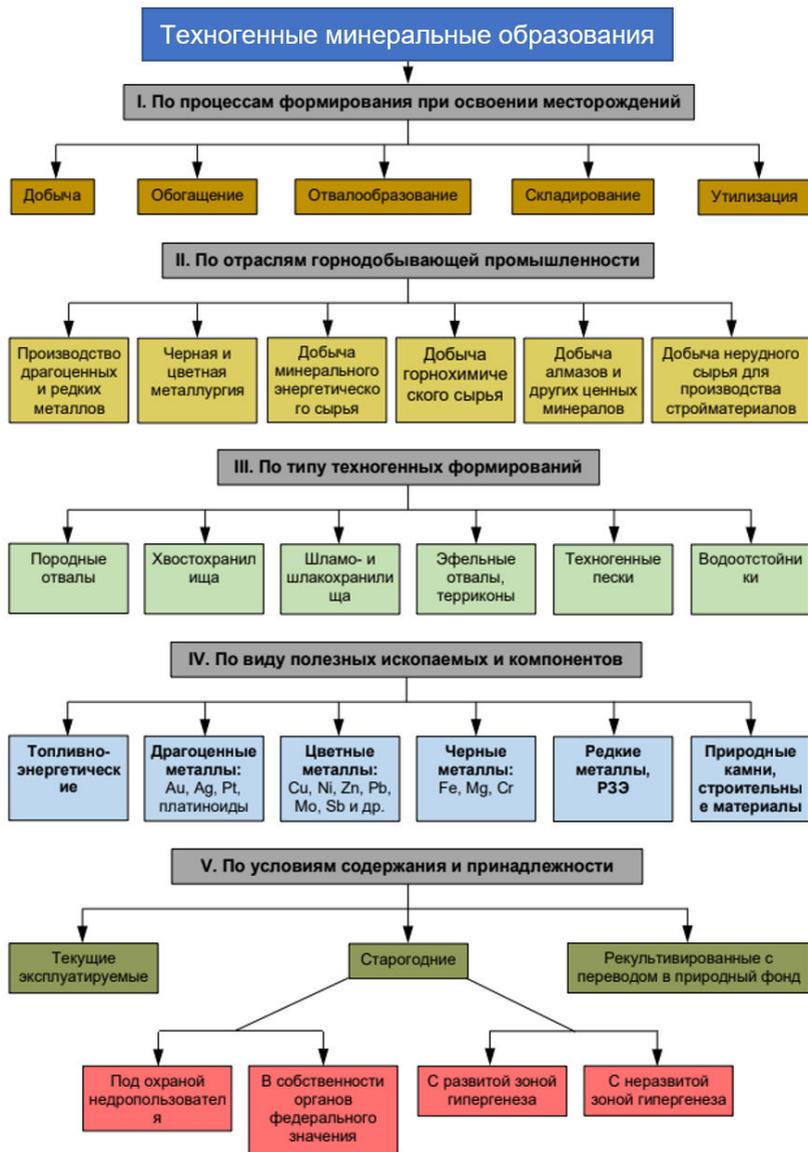


Рисунок 1 – Классификация техногенных георесурсов и образований

Доказана необходимость отказа от понятия «техногенное месторождение» с заменой на «техногенные образования» и «техногенные объекты», так как и по генетическому признаку, и по закономерностям накопления и распределения ценных компонентов техногенные образования имеют свои

специфические особенности, предполагающие особый подход к выбору проектных решений по их вовлечению в эксплуатацию.

Рассмотрены условия реализации и специфика технологических решений по многофункциональному использованию техногенных минеральных георесурсов. Доказана необходимость создания единого государственного реестра техногенных образований с указанием полных сведений об условиях формирования техногенного сырья, особенностях его складирования, данных об исходном и техногенно преобразованном вещественном составе, а также технологических свойствах техногенного сырья. Доказано, что накопление и систематизация знаний о техногенных минеральных образованиях с учётом предложенных их классификационных признаков должны быть направлены на совершенствование нормативно-правовой и законодательной базы управления отходами горной промышленности в России и, как следствие, на обеспечение повышения полноты освоения недр.

Третья глава содержит оценку возможностей управления отходами недропользования на базе исследования факторов, определяющих выбор параметров технологических решений по эксплуатации техногенных образований. В числе основных факторов, влияющих на выбор проектных решений по вовлечению отходов в эксплуатацию, выделены распределение вещественного состава техногенного сырья, физико-механических характеристик и технологических свойств складированных отходов обогащения руд.

На основе исследования вещественного состава техногенного сырья исследуемых техногенных образований, принятых в качестве объектов исследования, определено, что в составе техногенного сырья из отходов обогащения медно-колчеданных, золотосодержащих и вольфрамо-молибденовых руд содержится широкий спектр компонентов с весьма невыдержанным содержанием (рис. 2).

Так, в отходах медно-колчеданных руд (рис. 2а) наблюдаются высокие содержания благородных металлов (содержание золота 1,5–2,1 г/т приурочено к пляжной зоне хвостохранилища, в прудковой части – содержание золота снижается до 0,75 г/т), что обуславливает перспективу их промышленного эффективного использования. Установлено, что главным сульфидным минералом в общей массе является пирит (до 54 %), среди сульфатных минералов обнаружены ярозит (до 10 %), роценит (до 8 %) и мелантерит (до 32%), что подтверждает течение окислительных процессов при продолжительном хранении техногенного минерального сырья.

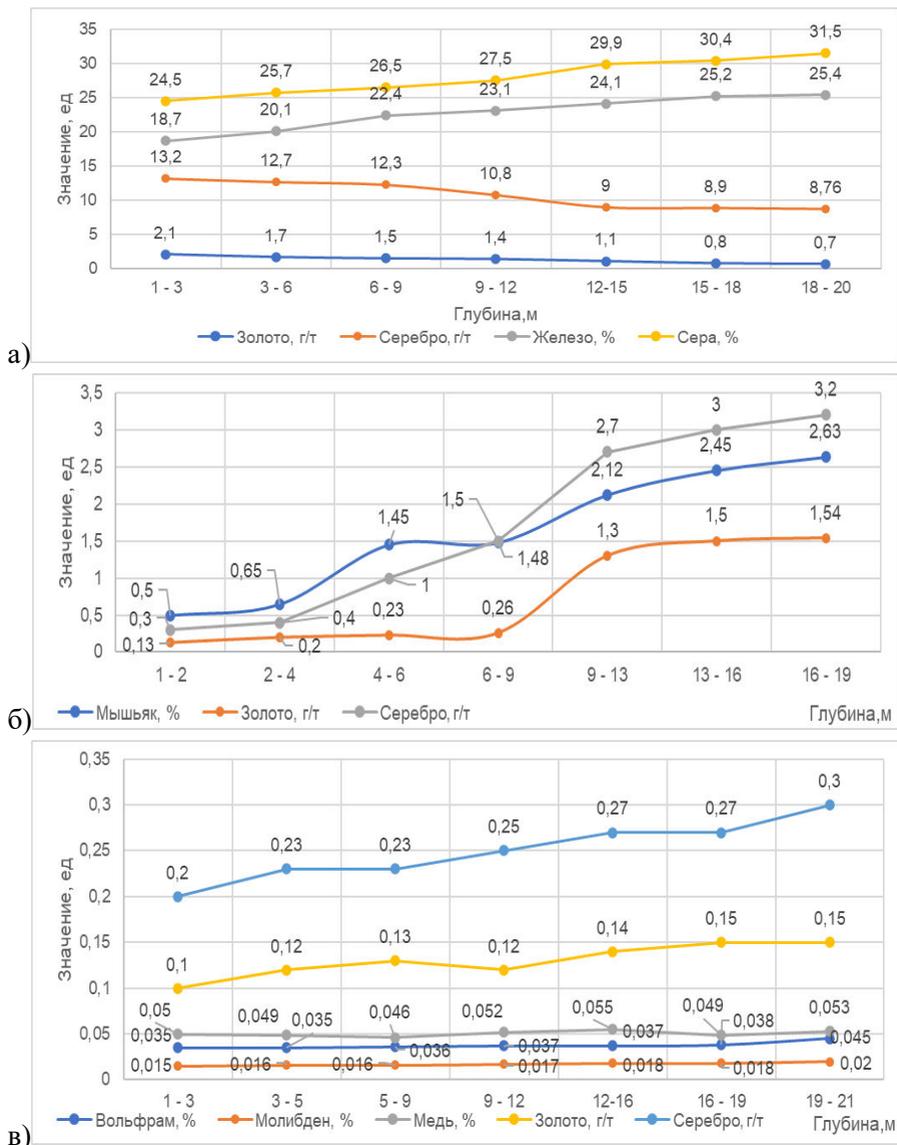


Рисунок 2 – Закономерности изменения вещественного состава в представленных пробах хвостов с глубиной: а - отобранных из Сибайского хвостохранилища, б - отобранных из Новотроицкого хвостохранилища, в - отобранных из хвостохранилища №2 Тырнаузского ГОКа

Таким образом, доказано, что весьма важно учитывать количественную оценку содержания сульфидных минеральных ассоциаций, а также характер их преобразования, поскольку сырье из отходов переработки медно-колчеданных руд с преобладанием сульфидных форм в составе первичных хвостов (более

30–40%) характеризуется наличием в гипергенной зоне вторичных форм окисления рудных минералов, что оказывает влияние на скорость и характер окисления сырья в массиве хвостохранилища и является важным фактором при выборе рациональной схемы переработки техногенного сырья.

Анализ вещественного состава техногенного сырья, представленного в техногенных образованиях, сформированных из отходов обогащения золото-содержащих руд Пластовского района Южноуральского региона (рис. 2б), а также его минеральных особенностей выявил содержание золота 0,43–0,71 г/т и меди менее 0,01%, что является благоприятным для вовлечения хвостов в повторную переработку. Однако, в исследуемом техногенном сырье выявлено содержание мышьяка в среднем 0,25 %, что подтверждает необходимость оценки содержания токсичных и вредных элементов. Учитывая показатели содержания ценных компонентов в массиве золотосодержащего техногенного объекта, сопоставимые с показателями компонентов в природных месторождениях, а также отсутствие активного преобразования минеральных форм при продолжительном хранении, несомненно целесообразно доизвлечение золота из техногенного сырья на близрасположенных обогатительных золотоизвлекающих фабриках при переработке совместно с природными рудами разрабатываемых месторождений в едином технологическом цикле.

Весьма низкое содержание ценных компонентов в отходах, представленных в хвостохранилище №2 Тырныаузского ГОКа (рис. 2в), свидетельствует о бесперспективности доизвлечения из них ценных компонентов, либо использования при производстве керамической плитки, также доказана возможность использования хвостов в закладке выработанного пространства подземных камер при доработке запасов Тырныаузского месторождения.

Исследование особенностей изменения физико-механических характеристик техногенных отходов, с учетом закономерностей преобразования их вещественного состава и свойств, необходимых для обеспечения их эффективного использования, позволило оценить устойчивость исследуемых техногенных массивов при открытой разработке для безопасного и эффективного освоения исследуемых техногенных объектов.

Также была проведена оценка техногенного сырья на предмет его использования при приготовлении рекультивационных материалов и цементов. Исследование перспектив использования вторичных отходов выщелачивания Сибайского хвостохранилища для подготовки рекультивационного материала показало техническую возможность их эффективного введения в состав разработанной смеси для рекультивации карьера и ликвидации процессов горения сульфидов в нижней зоне Сибайского месторождения, а также для рекультивации старогодних и затопленных хранилищ отходов недропользования.

Исследование методом термогравиметрического анализа вещественного состава хвостов Тырнаузского месторождения показало, что при температуре 650°C происходит наибольшее изменение массы с формированием вяжущей активности хвостов, которая может быть использована при приготовлении твердеющих закладочных смесей.

Результаты испытаний образцов закладочного массива, приготовленных на основе лежалых хвостов обогащения Тырнаузской обогатительной фабрики, с варьированием расхода цемента обожженных и исходных лежалых хвостов, отобранных из пляжной и прудковой зон хвостохранилища 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 вариантах систем разработки. Также установлена пригодность техногенного сырья для использования при приготовлении алинитового цемента, соответствующего марке 100.

Проведенная сравнительная оценка содержаний вредных компонентов в техногенном сырье исследуемых техногенных минеральных образований и в объектах окружающей среды в районе их расположения подтвердила, что продолжительное складирование отходов обогащения является весьма неблагоприятным фактором нарушения состояния окружающей среды и требует скорейшего решения вопроса вовлечения техногенных образований в промышленную эксплуатацию с последующей рекультивацией техногенно-нарушенных территорий.

Оценены риски продолжения хранения отходов недропользования с учетом особенностей их вещественного состава и свойств, а также природных особенностей региона хранения техногенного сырья.

Доказано, что в сфере управления отходами недропользования необходимо уделять особое внимание сбору исходных данных, характеру преобразования вещественного состава и особенностям складирования и хранения отходов, а также экологическим и экономическим рискам продолжительного хранения техногенного сырья, представленного различными видами отходов. Такой подход призван обеспечить вариативность технологических решений по освоению техногенных минеральных образований с увязкой на достижение баланса при сохранении и преумножении качественных характеристик техногенного сырья за счет рационального управления отходами и, в то же время, снижения экологической нагрузки на горнопромышленные регионы.

С целью выбора приоритетных технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования при комплексной эксплуатации горнотехнической системы разработан алгоритм (рис. 3), использование

которого на этапе проектирования ввода месторождения в эксплуатацию или реконструкции горнотехнической системы позволит определить перспективные направления экологически сбалансированного освоения рудных месторождений в комплексе с техногенными образованиями. Эффективность, полнота и сбалансированность освоения рудных месторождений и техногенных образований определяется на основе выбора геотехнологий и параметров разработанных технологических решений по управлению металлосодержащими отходами горнодобывающего производства для максимальной реализации сырьевого потенциала природных месторождений полезных ископаемых и сопутствующих техногенных образований при повышении объема потоков готовой товарной продукции и совокупного дохода горнодобывающего предприятия от реализации дополнительных видов производственно-хозяйственной деятельности.

Совокупный доход от освоения запасов рудного месторождения и сопутствующих техногенных образований (млн руб.) определяется суммированием по годам результирующих доходов от разработки запасов базового месторождения  $D_{1t,1,2,3..m}$  и от вовлечения в эксплуатацию сопутствующих техногенных образований с продажей дополнительной товарной продукции  $D_{2t,1,2,3..n}$ , где 1,2,3..n – количество видов продукции, извлекаемых из техногенного сырья при его вовлечении в эксплуатацию;  $D_{3t}$  – доход, получаемый в t-ом году от рекультивации и восстановления земель с возвратом их в сельскохозяйственный оборот;  $D_{4t}$  – сокращение в t-ом году собственных затрат горнодобывающего предприятия за счет использования техногенного сырья для собственных нужд: в закладке открытых и подземных выработанных пространств, для дорожного строительства, рекультивации и использования в иных целях.

$$D_t = \sum_m D_{1tm} + \sum_n D_{2tn} + D_{3t} + D_{4t}, \quad (1)$$

Разрабатывать технический проект на эксплуатацию техногенного сырья предпочтительно в комплексе с базовыми рудными месторождениями. Разработанный алгоритм, представленный на рисунке 3, и методика выбора технико-технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования позволяют обеспечить методическую базу для проектирования эффективной отработки природных минеральных ресурсов в комплексе с техногенными образованиями с обеспечением экологически сбалансированного использования техногенного сырья и формированием благоприятного ландшафта техногенно нарушенных территорий, адаптированных к природной среде горнодобывающего региона.

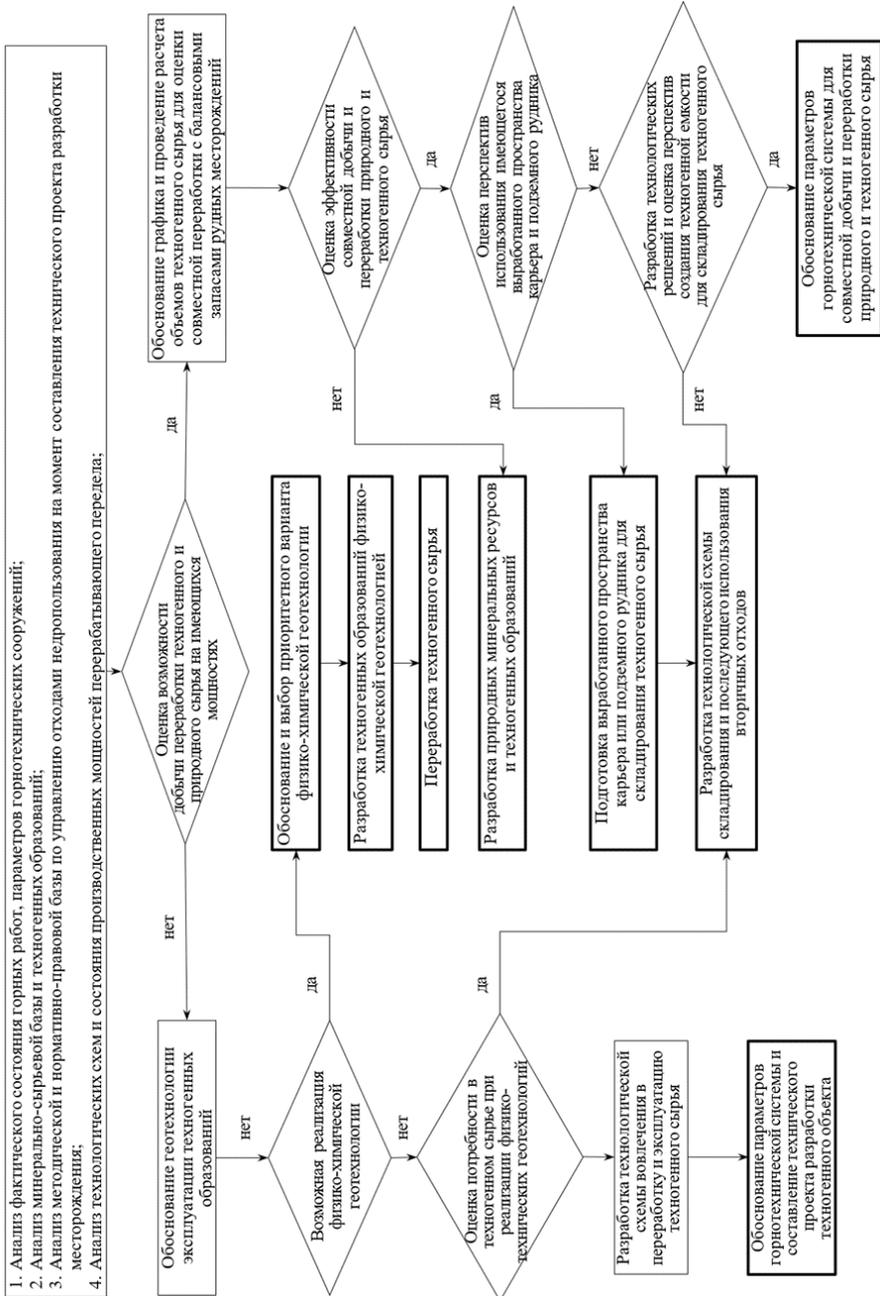


Рисунок 3 – Алгоритм принятия технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования

Для реализации принимаемых технологических решений по вовлечению в эксплуатацию техногенного образования с учетом фактического состояния горнотехнической системы и техногенных объектов необходимо обеспечить сбор и анализ исходных данных о параметрах всей горнотехнической системы. Пополнения действующей нормативно-правовой базы по управлению отходами недропользования на момент составления технического проекта разработки рудного месторождения позволяет выбрать технологические схемы разработки природных месторождений в комплексе с техногенными образованиями с обоснованием совокупных производственных мощностей перерабатывающего передела с учетом результатов оценки физико-механических характеристик и технологических свойств техногенного сырья.

В четвертой главе разработаны предложения по гармонизации терминологии в сфере управления отходами недропользования, выявлены противоречия в законодательной базе России, сдерживающие вовлечение в эксплуатацию отходов горнопромышленного комплекса. Обоснованы рекомендации по совершенствованию правовых норм и актов в сфере обращения с отходами недропользования. Определены условия для расширения интересов недропользователей при эксплуатации техногенных образований в комплексе с базовым месторождением. Для этого предложено создание реестра потребностей хозяйствующих субъектов в товарной продукции, которая может быть произведена при вовлечении в эксплуатацию техногенного сырья. Этот реестр станет основой для возможного включения недропользователям в лицензии на пользование недрами соответствующих видов деятельности по добыче и переработке техногенного сырья.

Проведена оценка технико-экономических показателей эффективности разработанных технико-технологических решений по добыче и переработке исследуемого техногенного сырья Сибайского месторождения медно-колчеданных руд, Новотроицкого месторождения золото-мышьяковистых руд и Тырныаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд с получением дополнительной товарной продукции, повышением эффективности доработки существующих месторождений и рекультивации высвобождаемых территорий. Совокупный экономический эффект от реализации разработанных технико-технологических решений превышает 10 млрд рублей.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, на основе разработанных технологических решений по формированию и эксплуатации техногенных образований, дано развитие научно-технической базы проектирования горно-технических систем комплексного освоения рудных месторождений с вовлечением в эксплуатацию техногенного сырья на базе установленных закономерностей изменения вещественного состава, техноло-

гических свойств и состояния техногенного объекта, что позволит сократить объёмы накопления отходов недропользования, расширить минерально-сырьевую базу действующих горнодобывающих предприятий и имеет важное значение для повышения эффективности функционирования минерально-сырьевого комплекса России.

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. Доказано, что выбор технологических схем эксплуатации техногенных образований должен производиться в комплексе с принятием проектных решений по комплексному освоению базовых месторождений на основе учета установленных закономерностей изменения вещественного состава, технологических свойств и физико-механических характеристик техногенного сырья в ходе его складирования и хранения на базе специально выполненных исследований по выбранному объекту недропользования. Решения по эксплуатации техногенных образований должны стать обязательной составляющей проектов комплексного освоения рудных месторождений.

2. Исследованиями вещественного состава технологических и физико-механических характеристик техногенного сырья базовых объектов доказано: хвосты Сибайского хвостохранилища в своем составе имеют относительно высокое содержание золота и серебра, редких металлов, железа, что предопределяет целесообразность получения дополнительной товарной продукции за счет доизвлечения ценных компонентов, а вторичные отходы целесообразно использовать для производства рекультивационного и строительного материалов; техногенное сырье Тырныаузского хвостохранилища имеет весьма низкое содержание ценных компонентов, что предопределяет перспективу их дальнейшего использования в составе закладочной смеси при подземной добыче руд, либо для приготовления низкомарочных цементов, используемых в строительных целях; отходы переработки золотосодержащих руд Южноуральского региона при содержании золота в среднем 0,7 г/т могут быть переработаны с рудами близлежащих месторождений на действующих золотоизвлекательных фабриках в едином технологическом цикле.

3. Обоснована необходимость формирования единого государственного реестра накопленных техногенных образований и текущих отходов недропользования. Определены условия для расширения интересов недропользователей при эксплуатации техногенных образований в комплексе с базовым месторождением. Предложено создание реестра потребностей хозяйствующих субъектов в товарной продукции, полученной из отходов недропользования.

4. Уточнен и гармонизирован терминологический аппарат в сфере обращения и управления отходами недропользования, что позволит недропользователю упростить организационные решения по лицензированию, разведке, по-

становки на учет, проектированию технологий добычи и вводу объектов в эксплуатацию. Предложена классификация техногенных образований по отраслям, состоянию, виду ценных компонентов, условиям содержания и перспективам дальнейшего использования.

5. Обоснованы рекомендации по совершенствованию правовых норм и актов в сфере обращения с отходами недропользования, включающие предложения по изменению Закона «О недрах», Налогового Кодекса РФ, Требований и Правил утвержденных Минприроды России и Правительством РФ № 378, 352 и № 2127, предложения учтены во введенных в действие документах Порядок использования отходов недропользования № 247/04 и Порядок добычи полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования № 246/03, а также в разработанных методических рекомендациях для расчета нормативных потерь при добыче и стандартах горнопромышленных предприятий.

6. Разработаны алгоритм и методика оценки сравнения экономической эффективности технико-технологических решений по вовлечению металлосодержащих отходов в эксплуатацию на основе оптимизации расчета внутренней нормы доходности с учетом риска реализации проектных решений. На Сибайском, Тырныаузском, Новотроицком месторождениях и эфельных отвалах в Южноуральском регионе добычу принято производить открытым механизированным способом невысокими уступами 2-5 м. Переработку сырья Сибайского хвостохранилища предлагается осуществлять физико-химическими методами с обжигом вторичных отходов для окисления железа и нерудных минералов; отходы переработки руд Тырныаузского месторождения рекомендовано подвергать обжигу до температуры 650<sup>0</sup>С для активации вяжущей активности; золотосодержащее сырье техногенных образований Южноуральского региона предложено перерабатывать на действующих фабриках с рудами близлежащих месторождений в едином технологическом цикле.

7. Технико-экономическая оценка эффективности предложенных решений выявила возможность полностью освободить территории от хранения техногенного сырья с экономическим эффектом: после переработки хвостов Сибайского хвостохранилища будет получено около 2,1 т золота, 11,9 т серебра и прибыль в размере 6,5 млрд рублей; отходов Тырныаузского хвостохранилища № 2 доход составит 618,4 млн руб.; при эксплуатации техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища – не менее 654 кг золота с экономическим эффектом – 3 млрд рублей.

### **Основные научные и практические результаты опубликованы:**

#### ***В изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России:***

1. К вопросу возможности и целесообразности обеспечения обязательных требований при использовании вскрышных и вмещающих пород разрабатываемых месторождений / В. Н. Сытенков, М. В. Рыльникова, Д. Н. Олейник, Е. Е.

Швабенланд // Рациональное освоение недр. – 2024. – № 2. – С. 48-58.

2. Рыльникова, М. В. Научно-методический подход к разработке проектов опытно-промышленных испытаний открытой разработки месторождений / М.В. Рыльникова, Д. Н. Олейник, А. М. Файсханов // Горная промышленность. – 2024. – № 3. – С.112–117.

3. Олейник, Д. Н. Совершенствование правовых основ управления отходами недропользования в России / Д. Н. Олейник, М. В. Рыльникова, Е.Е. Швабенланд // Рациональное освоение недр. – 2023. – № 6. – С. 24-35.

4. Рыльникова, М. В. Развитие системы обращения и управления отходами недропользования в России / М. В. Рыльникова, Е. Е. Швабенланд, Д. Н. Олейник // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3. – С. 98-107.

5. Рыльникова М. В. Совершенствование правовой и научно-методической базы обращения и управления отходами недропользования / М. В. Рыльникова, Д. Н. Олейник, М. В. Цупкина // Горная промышленность. 2024. – Вып. 5S. – С. 64-69.

***В прочих изданиях:***

6. Олейник, Д. Н. Проблемы обращения с отходами недропользования в России: перспективные решения, как основа снижения экологической нагрузки на горнодобывающие регионы и расширение минерально-сырьевой базы действующих предприятий / Д. Н. Олейник // Научные труды IV Международной научно-технической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов». – 2024. – С. 122-124.

7. Швабенланд, Е. Е. Обобщение мирового опыта, тенденции и прогрессивные решения по вовлечению в эксплуатацию отходов недропользования / Е. Е. Швабенланд, Д. Н. Олейник // Научные труды IV Международной научно-технической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов». – 2024. – С. 124-127.

Подписано в печать 11.11.2024.  
Усл. печ. л. 1,00.

Формат 60x84/16.  
Тираж 100 экз.

Бумага тип. №1.  
Заказ 298.

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38