

**Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова»**

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

Диссертация

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

профессор, доктор технических наук  
Марина Владимировна Рыльникова

Магнитогорск 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ОБРАЩЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ, ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОТХОДАМИ В ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЯХ .....	11
1.1. Динамика объемов накопления и формирования техногенного сырья в сфере недропользования в России.....	11
1.2. Обзор мировой практики использования техногенного сырья при комплексном освоении рудных месторождений.....	23
1.3. Обобщение проектных решений по вовлечению в эксплуатацию накопленного и формируемого техногенного рудного сырья .....	28
1.4. Параметры известных технологических решений по разработке техногенных образований и факторы, определяющие их выбор .....	38
1.5. Цели, задачи и методы исследования.....	51
ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРАВОВОЙ И НАУЧНО- МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ОБРАЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ .....	54
2.1. Понятийный аппарат и классификация техногенных георесурсов, образований и минерального сырья.....	54
2.2. Необходимость и направления совершенствования правовых основ в сфере управления отходами недропользования в России .....	67
2.3. Особенности и специфика технологических решений по многофункциональному использованию техногенных георесурсов .....	76
2.4. Обоснование необходимости принятия комплексных технологических решений в проектах освоения рудных месторождений.....	84
Выводы по главе 2.....	87
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ.....	89

3. 1. Исследование влияния вещественного состава техногенного сырья на выбор проектных решений по вовлечению отходов в эксплуатацию .....	89
3. 2. Исследование физико-механических характеристик складированных отходов обогащения руд и оценка их влияния на параметры геотехнологии.....	98
3. 3. Исследование технологических свойств отходов обогащения для выбора технологических схем их складирования и последующего использования.....	108
3. 4. Обоснование рисков продолжительного складирования отходов недропользования с учетом особенностей их вещественного состава и свойств.	121
3. 5. Разработка алгоритма выбора технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования.....	130
Выводы по главе 3 .....	141
<b>ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....</b>	<b>144</b>
4. 1. Предложения по совершенствованию правовой и методической базы обращения с отходами недропользования .....	144
4. 2. Техничко-технологические рекомендации по вовлечению в эксплуатацию отходов Сибайского хвостохранилища .....	150
4. 3. Техничко-экономические рекомендации по повышению эффективности освоения доработки Тырнаузского месторождения вольфрам-молибденовых руд с использованием лежалых отходов обогащения в закладке выработанного пространства .....	153
4. 4. Техничко-технологические рекомендации по вовлечению в эксплуатацию отходов переработки золотосодержащих руд месторождений Южноуральского региона.....	155
Выводы по 4 главе.....	159
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>162</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>165</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Законом РФ «О недрах» природные ресурсы недр включают как непосредственно полезные ископаемые, так и отходы их производства, а также полезные свойства недр и геологическую информацию о недрах. Рациональное использование и охраны недр – базовый, законодательно закрепленный принцип российского недропользования, осуществление которого должно закладываться на стадии проектирования разработки как природных, так и техногенных месторождений и реализовываться на основе широкого внедрения малоотходных и ресурсосберегающих технологий. Неотъемлемым элементом рационального использования недр является их комплексное освоение, 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.

Накопленные отходы недропользования содержат полезные компоненты в количествах, зачастую близких к промышленным значениям, и могут быть рентабельно вовлечены в повторную переработку как техногенные образования. Это позволяет рассматривать их в качестве потенциальных источников минеральных ресурсов техногенного происхождения, способных в ближайшей перспективе в определенной степени возместить дефицит минерального сырья и пополнить МСБ черных, цветных, драгоценных, редких металлов, других попутных продуктов.

Проблематике рационального недропользования и комплексного использования отходов горнодобывающих предприятий в качестве техногенных георесурсов посвящены работы известных отечественных ученых: академиков Н. В. Мельникова, М. И. Агошкова, К. Н. Трубецкого, В. А. Чантурия, чл.-корр. РАН Д. Р. Каплунова, В. Л. Яковлева, докторов наук А. И. Арсентьева, А. В. Архипова, В. И. Голика, О. Е. Горловой, В. Н. Калмыкова, В. А. Кныша, С. В. Корнилкова, Ф. Д. Ларичкина, И. А. Пыталева, С. П. Решетняка, М. В. Рыльниковой, С. М. Ткача, В. Н. Уманца, С. И. Фомина, Г. А. Холоднякова, И. В. Шадруновой, кандидатов наук Н. В. Пашкевича, А. М. Пешкова, Д. Н. Радченко и др. В их трудах исследованы свойства отходов до-

бычи и переработки техногенных ресурсов, приведена специфика их формирования, дана оценка их ресурсного потенциала, определены условия безопасного извлечения отходов из ранее сформированных природно-техногенных массивов.

Стратегическое значение комплексного освоения ресурсов недр, в частности рудных ресурсов, предопределяет актуальность развития научно-методических основ технологических решений по управлению отходами недропользования при освоении техногенных минеральных ресурсов. Необходимость этого также обусловлена их негативным воздействием на окружающую среду, что требует экологически сбалансированного освоения рудных месторождений. Эффективное вовлечение в разработку техногенных георесурсов возможно за счёт целенаправленного управления ими на этапах доработки 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 являются 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 недорогого источника 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 диссертации** 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 исследования 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.

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

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

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

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 отводов.

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.

**Научную новизну работы составляют:**

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 оптимиза-

ционных 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 состоянием 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.

**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 завершенном 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.

**Практическая значимость 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.

**Методология и методы исследования.** Достоверность выводов и рекомен-



даций, полученных в диссертационной работе, подтверждает применение комплекса 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.

**Апробация результатов.** 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 Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие», г. Челябинск, 2022; XII международной конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых», г. Магнитогорск, 2023; IV Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие», г. Челябинск, 2024; совещаниях на объектах диссертационного исследования в г. Сибай (Башкортостан), г. Тырныауз (Кабардино-Балкария), г. Челябинск (октябрь-ноябрь 2024 г.).

**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.

**Достоверность научных 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.

**Реализация выводов и рекомендаций.** Основные положения диссертационной работы использованы при разработке проектных решений по отработке Сибайского, Тырныаузского, Новотроицкого хвостохранилищ.

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

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

# ГЛАВА 1. ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ОБРАЩЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ, ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОТХОДАМИ В ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЯХ

## 1.1. Динамика объемов накопления и формирования техногенного сырья в сфере недропользования в России

Анализ сложившейся в России практики подготовки проектов разработки месторождений твердых полезных ископаемых показывает, что лишь в единичных случаях проекты предусматривают вовлечение в эксплуатацию отходов горного производства. Это привело к накоплению больших объемов техногенных минеральных образований на поверхности Земли [65, 115]. По официальным оценкам общий объем отходов, накопленных на территории РФ в 2022 г., превышает 9 млрд т [90], из них более 90 % представлены отходами добычи полезных ископаемых (табл. 1.1). По состоянию на 01.01.2023 на территории РФ действуют 2830 лицензий, предусматривающих использование отходов добычи полезных ископаемых и связанных с ней перерабатывающих производств, что составляет 24,5 % всех выданных лицензий на право пользования недрами для геологического изучения, разведки и добычи ТПИ.

Таблица 1.1. Структура и объем формирования отходов добычи полезных ископаемых в России в 2016–2022 гг., млрд т (составлено по данным [90])

Вид деятельности	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Добыча полезных ископаемых (ПИ), всего*	4,73	5,78	6,9	7,3	6,4	7,7	8,4
В том числе:							
добыча угля	3,4	3,9	4,8	5,2	3,9	5,0	5,7
добыча металлических руд	0,96	1,5	1,6	1,6	2,1	2,4	2,4
добыча других ПИ	0,37	0,38	0,38	0,41	0,37	0,27	0,28
*Без учета отходов, образованных при предоставлении услуг в области добычи полезных ископаемых и в среднем составляющих 0,005 млрд т/год.							

География размещения наибольших количеств отходов недропользования связана с крупными, исторически сложившимися регионами добычи и переработки полезных ископаемых [94, 150]. В разрезе федеральных округов объемы обра-

зования отходов распределяются следующим образом: СФО – порядка 5 млрд т; ДВФО – около 1,8 млрд т; СЗФО – 470 млн т; УФО – 400 млн. т [90].

Отходы недропользования, размещенные в хвостохранилищах, шлаковых отвалах и различных складах, занимают значительные площади, приводят к деградации земель, которая в настоящее время является одной из важнейших социально-экономических проблем, создающих угрозу экологической, экономической и в целом национальной безопасности РФ. При нарушении режимов складирования и хранения отходов, требований к их отдельному транспортированию, размещению по объёмам, типам и сортам, а также при длительном хранении возможны изменения химического и минералогического состава техногенного сырья, которые могут привести как к деградации окружающей среды, иногда с катастрофическими последствиями, так и к значительному обесцениванию техногенного объекта как источника минеральных ресурсов. Многочисленными исследованиями российских и зарубежных ученых [3, 1, 18, 29, 111, 123] подтверждено, что объёмы скопления отходов обогащения руд, исчисляемые сотнями миллионов тонн, приводят к деградации компонентов окружающей среды. Так, на крупных хвостохранилищах (шламохранилищах), относящихся к опасным производственным объектам, не исключены разрушения дамб, при которых происходит сброс хвостов, это, неизменно, приводит к загрязнению окружающей среды и к потере сырья. Другим негативным аспектом является пыление хвостов, которое помимо загрязнения атмосферы, приводит к потере ценных компонентов, загрязнению водной среды и почв. Кроме того, наличие большого хвостохранилища нередко ухудшает микроклимат прилегающих территорий. Нарушения гидрозащиты основания хвостохранилища приводит к обезвоживанию и осушению техногенного сырья при разработке [29]. При определенных специфических условиях накопление вторичных минеральных форм может привести к цементации и затвердеванию отдельных слоёв в хвостохранилище [13, 50]. Физические характеристики сцементированного техногенного сырья отличаются от характеристик его исходного состояния низкой пористостью и малой гидравлической проводимостью [12, 114].

В процессе функционирования хвостохранилища Гайского ГОКа происходят потери потенциального техногенного сырья в результате водной эрозии с формированием техногенного гидрогеохимического ореола загрязнения площадью более 840 га, высококонтрастного по загрязняющим веществам:  $\Sigma_{cAl}=515$ ;  $\Sigma_{cCu}=396$ ;  $\Sigma_{cZn}=30,2$ ;  $\Sigma_{cFe}=1216$ ;  $\Sigma_{cMn}=23,8$ ;  $\Sigma_{cNi}=5,7$ ;  $\Sigma_{cPb}=11,2$ . Необходимость консервации техногенных ресурсов, представленных отходами обогащения Гайского ГОКа, обусловлена содержанием в них ценных компонентов: Au – 0,6 г/т (запасы  $\approx 50$  т), Ag – 3,8 г/т (запасы  $\approx 300$  т), Cu – 0,17 % (запасы  $\approx 140$  тыс. т), Zn – 0,7 % (запасы  $\approx 140$  тыс. т) [55, 97].

В районе Карабашского медеплавильного комбината на площади 15 га складированы пиритсодержащие породы мощностью до 1,5 м, содержащие до 58 % сульфидов, до 0,26 % Cu, 0,31 % Zn, 0,1% As и 0,13% Pb [55, 97]. В ходе продолжительного складирования такого типа техногенных отходов в хвостохранилищах развиваются окислительные процессы, протекающие неравномерно под влиянием ряда факторов, в числе которых минеральные характеристики первичных руд, климатические условия в районе расположения хвостохранилищ, а также наличие микробиологической среды. Длительное хранение отходов переработки медно-колчеданных руд сопровождается образованием кислотного дренажа [67]. До настоящего времени такие техногенные образования, практически не вовлекаются в отработку. Также область и опыт проектирования не подкреплены научной базой и методическими пособиями для достаточного обоснования требуемых характеристик для руд и техногенного сырья. С целью вторичной переработки техногенного сырья в промышленных масштабах требуется:

- поиск и разработка новых технологий и технических решений;
- определение конечных качественных показателей к рассматриваемым георесурсам, которые, главным образом, характеризуются кондиционными параметрами;
- совершенствование законодательства в части обращения с отходами недропользования.

Высокая отходоёмкость горнодобывающей отрасли ставит её в ряд наиболее экологически «грязных» отраслей экономики [50]. Так, в черной и цветной металлургии темпы накопления отходов добычи превышают 210 млн м<sup>3</sup>, хвостов обогащения – 140 млн м<sup>3</sup>, а общее количество отходов, образованных в 2022 г. при добыче металлических руд в 2,5 раза превысило уровень 2016 г. [90].

Увеличению количества отходов способствует увеличение объемов вынимаемой горной массы, ввиду снижения требований к качеству извлекаемого из недр сырья, на фоне снижения количества богатых месторождений и роста объемов потребления и производства [108]. А также совершенствование технологий, которые позволяют с более низкими издержками осваивать ранее нерентабельные месторождения бедных руд. Данное высказывание подтверждается практикой недропользования в РФ, показавшей снижение содержаний железа, меди и свинца в рудах за последние десятилетия, при этом наибольшее падение у редких и драгоценных металлов, где содержание снизилось в 6–8 раз [150].

Ресурсный потенциал отходов недропользования оценивается в 1 тыс. т Au, 0,5 млн т Sn, 8 млн т Cu, 9 млн т Zn, а также включает большое количество Fe и других металлов [93]. Из-за высоких технологических потерь металлов, которые при извлечении из добытых руд варьируются в пределах 12–50%, и в 2 раза превышают эксплуатационные потери, образующиеся в процессе освоения месторождений [40]. Например, количество золота в прогнозных ресурсах техногенных россыпей превышает 50 % от всего добытого в России [65]. Согласно Госкомстата и другим источникам, в результате освоения месторождений в отходах недропользования содержатся множество цветных металлов. Их большая доля содержится в хвосто- и шламохранилищах обогатительных фабрик и отвалах некондиционных и забалансовых руд [108, 126]. Так, отвалы вскрышных пород, некондиционных и забалансовых руд Учалинского ГОКа и Башкирского медно-серного комбината содержат в совокупности (оценочно) 771 тыс. т Cu и 2633 тыс. т Zn [50, 97]. В хвостах обогащения различных российских предприятий доли не извлеченных компонентов от их содержания в исходной руде составляют порядка 25 % Mo, Cu и Ni; 35 % Co; 45 % Pb и Zn; 50 % W, 60 % St, почти 100 % редких и

редкоземельных металлов залегаемых с основными полезными ископаемыми [99]. К примеру, текущие запасы металлов хвостохранилищ, образованных в результате разработки месторождений медно-колчеданных руд Южного Урала, значительно превышают количество металлов во многих месторождениях этого типа руд [46, 150]. И их освоение позволит обеспечить объемы потребления горнодобывающих предприятий цветной металлургии на протяжении полувека [55, 120]. Кроме того, в связи с повышением до мирового уровня цен, в частности, на цветные и драгоценные металлы, хвосты обогащения обладают достаточной ценностью для их повторной переработки и могут быть переведены в класс извлекаемых георесурсов.

По результатам многолетней деятельности ГМК «Норильский никель» было сформировано множество техногенных образований в виде отходов продуктов обогащения, отходов гидрометаллургии и прочие отходы недропользования, при этом их объемы превышают сотни миллионов тонн [39]. Разработка данных техногенные образования в перспективе позволит получить множество драгоценных металлов и металлов платиновой группы (МПП). Содержания благородных и цветных металлов, согласно источникам, варьируется в пределах  $\leq 5$  г/т Pt и Pd;  $\leq 0,15$  г/т Rh;  $\leq 0,027$  г/т Ir;  $\leq 0,052$  г/т Ru;  $\leq 0,01$  г/т Os; а также  $\leq 0,5$  г/т Cu и Ni. Тем самым, отработка и переработка отходов недропользования ГМК «Норильский никель» позволит до извлечь более 1 тыс. т МПП [39, 50, 78].

По оценкам ученых и специалистов [56, 76, 80] количество олова в техногенных образованиях на территории РФ находится на уровне его мировой добычи. И их большая доля расположена в отвалах забалансовых руд (146 млн т) и хвостах обогащения (110 млн т) уже ликвидированных предприятий оловянной промышленности в Читинской и Магаданской областях, в Республике Саха (Якутия). С 2017 г. в стране ведется разработка техногенных образований, представленных забалансовыми рудами, с извлечением олова в значимых количествах: максимум – 601 т в 2019 г. [89].

По состоянию на 01.01.2021 г. госбалансом учтено 29 техногенных месторождений с балансовыми запасами золота 48,9 т; при этом добыча из техногенных

месторождений незначительна: в 2020 г. добыто всего 1,2 т (0,28 % всей золотодобычи в России) [89]. В то же время в техногенных россыпях заключено от 10 до 50 % драгоценного металла, содержащегося в первичных россыпях [24, 41, 64, 65, 74, 96, 149], вклад которых в отечественную золотодобычу составляет около 20 %. По данным 2015 г., в эфельных отвалах Магаданской области накоплено 1,5 млрд м<sup>3</sup> перемытых песков, что составляет 500 т золота [105]. Большинство техногенных россыпей являются комплексными, что, повышает рентабельность их освоения [149].

Значительным потенциалом для формирования источника редкоземельных металлов обладают отходы, образуемые в результате добычи и переработки руд месторождений различных металлов, и отходы металлургического передела. Пыль, образующаяся в процессе обжига молибденового концентрата, может содержать рений; селен и теллур часто содержатся в отходах обогащения сульфидных медных руд; отходы недропользования полиметаллических руд зачастую содержат кадмий, таллий, индий; галлий является частым попутным компонентом в алюминиевых и нефелиновых рудах, и отходы, образующиеся в результате их переработки, могут являться источником для его добычи [142]. В ряде случаев извлечение запасов ценных компонентов из накопленных отходов равноценно открытию новых крупных месторождений РЗМ [50, 146].

На Кольском полуострове старогодние отвалы отработанных слюдяных месторождений представлены пустой породой и слюдяной рудой (мельче 20 мм). Эти отходы могут быть источником нового вида сырья или для производства молотых слюд [47]. В связи с этим первостепенное значение приобретает создание технологии переработки мелкогабаритных слюдяных руд.

Лишь малая часть хвостохранилищ, шламоохранилищ и различных складов отходов можно назвать полноценными техногенными образованиями. Основная часть представлена некондиционным техногенным сырьем с неустановленным качеством и такие отходы накапливаются значительными темпами [29, 44] (рис. 1.1).





Рисунок 1. 1. Объекты размещения техногенных отходов в Кемеровской области: *а* – хвостохранилище Абагурской ОФ; *б* – шламонакопитель Западно-Сибирского металлургического комбината; *в* – отвал отходов коксохимического производства; *г* – флотохвостохранилище отходов углеобогащения ЦОФ «Абашевская» [44]

Превалирующая часть рудных ресурсов РФ имеет поликомпонентный состав, однако разрабатываются преимущественно как моносырье. В результате используется лишь небольшая часть извлекаемой из недр ценной минеральной массы, а попутные полезные ископаемые и ценные компоненты, не извлеченные при добыче и переработке основного полезного ископаемого, уходят в отходы.

Это связано с фокусированием на добыче из руд только основного ценного компонента в длительный период деятельности горнодобывающей промышленности советского времени. Подсчет запасов и оценка возможности переработки попутных компонентов в большинстве случаев не рассматривались ввиду отсутствия технологий, позволяющих их добычу, или отсутствовала потребность в данном виде сырья. Данные условия способствовали накоплению драгоценных и редкоземельных металлов в отходах продуктов обогащения, располагаемых в хвостохранилищах. В настоящее время несмотря на высокое качество оборудования и развитость технологий обогащений доля образуемых хвостов после перера-

ботки руд составляет до 90%. Помимо эксплуатационных и технологических потерь, потери ценных компонентов могут быть связаны с растворением в высокоминерализованных подземных водах мигрирующих в области полезных компонентов.

Несмотря на высокую отходоёмкость, добыча полезных ископаемых является лидирующей среди других отраслей экономики в части обращения с отходами. Например, объем утилизированных и обезвреженных отходов производства и потребления в РФ состоит в основном из отходов недропользования (состоящих из вскрышных и вмещающих пород, отходов обогащения), при общей тенденции устойчивого роста количества утилизированных и обезвреженных отходов недропользования (рисунок 1.2.). Так, по сравнению с 2016 г. количество таких отходов выросло в 1,3 раза – с 2883,5 млн т в 2016 г. до 3778 млн т в 2022 г. [90]. Но объёмы добычи, переработки руд и непрерывный рост образования отходов с высоким содержанием ценных компонентов [97], не позволяют кардинально изменить ситуацию.

Деятельность политики государства РФ связанного с обеспечением устойчивого развития в области экологии сдерживается неблагоприятной атмосферой в области образования и использования отходов недропользования, их размещением и накоплением.

Основные мероприятия по предотвращению и сокращению образования отходов, вовлечение их в хозяйственный оборот и применение ресурсосберегающих технологий определены в Основах государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденных Президентом РФ в 2012 г.

В 2018 г. Правительство РФ утвердило Стратегию развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, результатом реализации которой должно стать создание отрасли по переработке, утилизации и обезвреживанию отходов, а также создание технологической и машиностроительной базы для обработки, утилизации и обезвреживания отходов [122].

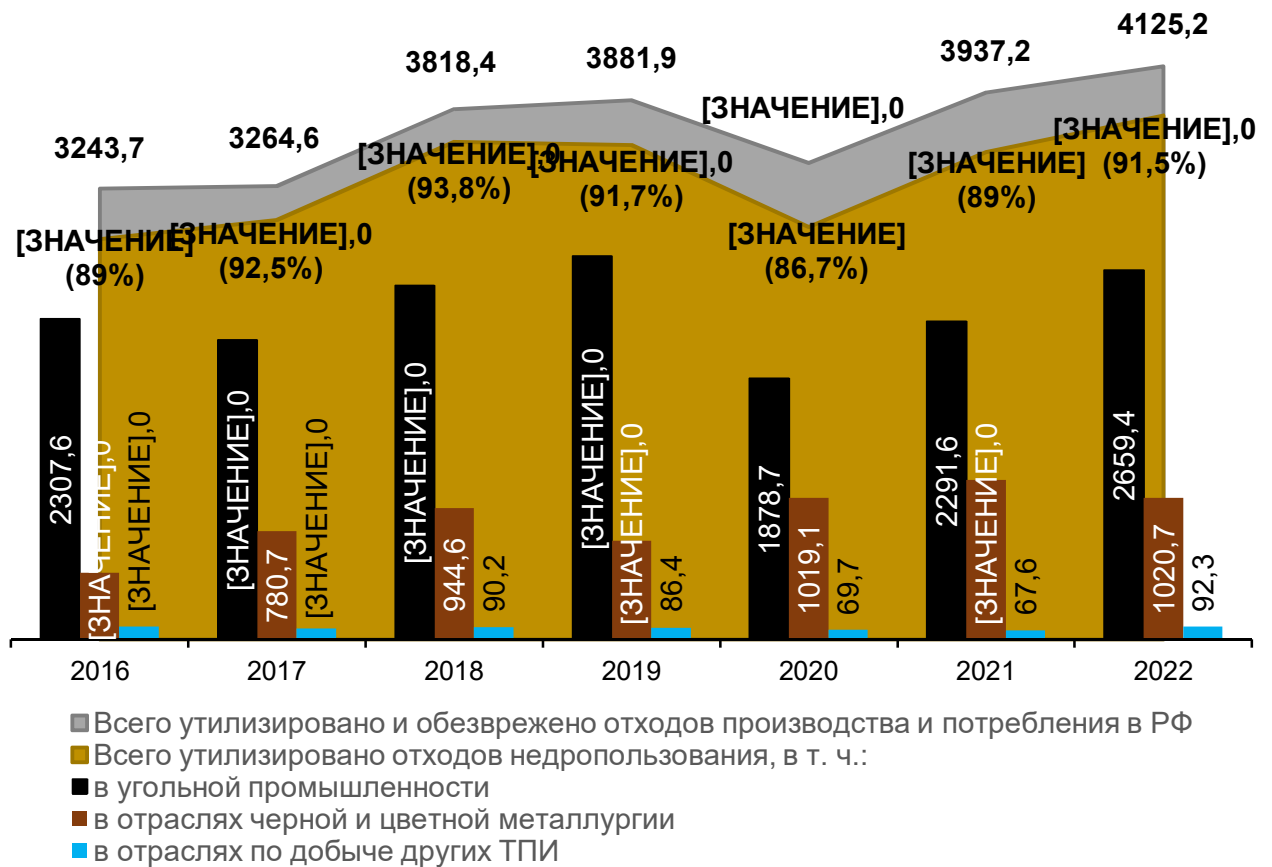


Рисунок 1. 2. Количество утилизированных и обезвреженных отходов недропользования в общем объеме отходов производства и потребления в РФ по в 2016–2022 гг., млн т

В Стратегии зафиксировало неудовлетворительное положение дел с переработкой отходов и вовлечением их в хозяйственный оборот ввиду недостаточно эффективной государственной политики в сфере обращения с отходами, а также несовершенства нормативной правовой базы. Российские ученые и специалисты отмечают отсутствие в системе государственного управления подсистемы управления техногенными минеральными объектами, правовых и технических регламентов формирования техногенных образований, порядка установления прав собственности, системы учета, полной достоверной информации о техногенных месторождениях и образованиях [17, 42, 73, 108].

Официально доля отходов недропользования, имеющих промышленное значение и поставленные на государственный баланс составляет малую часть из всего объема сформированных на данный момент, и состоят из техногенных образований цветной и черной металлургии, и техногенных образований, сформированных в результате добычи редкоземельных металлов и прочих полезных ком-

понентов [106]. Основная часть запасов месторождений техногенного происхождения сосредоточена в ДВФО, СЗФО, СФО и УФО [54, 90]. Одним из основных преимуществ техногенных объектов, по сравнению с природными месторождениями, является то, что извлеченное минеральное сырье уже подготовлено к вовлечению в обогатительный процесс. Кроме того, техногенные образования расположены на промышленных площадках горно-обогатительного производства с развитой инфраструктурой, в определённых выраженных границах. Тем не менее, в России используется не более 30 % техногенных отходов, тогда как в мире этот показатель достигает 90 % [50].

Экономическая целесообразность вовлечения отходов горно-обогатительного и металлургического производства в промышленный оборот, а также промышленной добычи техногенных полезных ископаемых в России обоснована в работах акад. Т. С. Хачатурова [132] – известного советского экономиста, основоположника научного направления «Экономика природопользования». Он выделил несколько ступеней использования отходов: 1) увеличение степени извлечения сырья и его использования, что способствует получению как основного, так и ряда попутных компонентов, а также развитие рециклинга в пределах действующих горнопромышленных предприятий; 2) использование отходов одних предприятий в качестве источника материалов для других; 3) комплексное развитие смежных производств и обмен отходами для максимального получения готовой продукции как из природного сырья, так и из отходов производства. По оценке Т. С. Хачатурова, при комплексной переработке руд экономия капитальных вложений может достигать 35 %, а снижение себестоимости – 30 %. Правомочность такой оценки подтверждается конкретными примерами внедрения комплексной переработки железных и апатит-нефелиновых руд [82]. В качестве перспективного сырья и источника дополнительной прибыли Т. С. Хачатуров также рассматривает шлаки и золы металлургических заводов и теплоэлектростанций. Переработка таких отходов с целью получения металлов и производства строительных материалов позволяет предприятиям черной металлургии получить дополнительные прибыли в размере 80–100 млн руб. в год [132].

Среди основных факторов, определяющих целесообразность полезного использования отходов горнодобывающего комплекса, А. М. Максимова [79] выделила следующие:

1) снижение себестоимости извлечения ценных компонентов из техногенного сырья по сравнению с разработкой коренного месторождения обеспечивает снижение цены сырья и продукции;

2) вовлечение техногенных объектов в хозяйственный оборот обеспечивает сохранение природных ресурсов, в том числе предотвращает загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, и, как следствие, способствует оздоровлению населения;

4) техническая доступность горных пород при разработке техногенных объектов;

5) возможность формирования техногенного объекта с параметрами, которые обеспечивают устойчивость отвалов и требуемые технологические характеристики техногенного сырья.

Наиболее частое направление использования вскрышных пород связано с производством стройматериалов (щебень, песок) в области нерудной промышленности. Однако, вскрышные породы, отсыпаемые в отвалы, зачастую формировались валовым способом без наведения селекции. Данный способ формирования отвалов с перемешиванием различных по составу и физико-механическим свойствам пород снижает их пригодность для производства стройматериалов [46]. Проблематика вовлечения в повторную переработку вскрышных отвалов складывается из весьма трудоемких операций по разделению вскрышных пород, состоящих из скальных и рыхлых пород, на пригодные к дальнейшему использованию и непригодные, а также, в частности, отсутствие пригодности всех скальных пород для производства щебня. В практике разведки месторождений для открытого способа разработки попутно с подсчетом и постановкой на баланс полезных компонентов на государственный баланс ставятся вскрышные породы для производства строительного камня, но в большинстве случаев остаются невостребованными.

Вторым по частоте направлений использования отходов недропользования является закладка выработанного пространства при подземном способе разработки, формирования дорожной подушки, строительства гидротехнических сооружений и ликвидации выработок открытых горных работ. Требования по качеству к материалам применяемых для данного вида использования в большей части отсутствуют.

Основная причина отсутствия развития и внедрения новых технологий открытой разработки месторождений с целью снижения образования отходов связано с высокими капитальными затратами при низкой выгоде и отсутствием предложений необходимого оборудования на потребительском рынке. А также отсутствие организованных принципов по комплексному использованию техногенного сырья [46].

Следует отметить неоднозначность требований к технологиям разработки отвалов и хвостохранилищ горнорудных предприятий с открытым способом добычи. Например, средние показатели коэффициента остаточного разрыхления скальных вскрышных пород в зависимости от информационного источника ВНТП [88], К. Н. Трубецкой и др. [127] или результаты замеров «Ураласбест» варьируются 1,16, 1,12 и 1,09 соответственно. И при условии изменения крупности кусков породы по высоте ярусов отвала, совокупно значительно снижают эффективность работы выемочно-погрузочного оборудования. Также ОСТ 24.072.11.81 [52] предусмотрены ограничения по отработке отвалов, ввиду высокого шанса поломки оборудования. Данные факторы требуют пересмотра применяемых технологий или разработка нового типа выемочно-погрузочного оборудования.

Вовлечение техногенных образований в повторную отработку, позволяет оказать поддержку и рост экономики, за счет появления новой сырьевой базы, а также улучшить экологическую обстановку путем сокращения объемов отходов и влияния на окружающую среду.

Таким образом, с учетом ухудшения горно-геологических условий разработки и истощения запасов природных месторождений металлических руд, а также с учетом технико-экономических факторов целесообразности разработки техногенных минеральных объектов (благоприятное географическое расположение в

зонах со сложившейся производственной структурой, вблизи действующих предприятий; сравнительно меньшие затраты, поскольку не предполагаются извлечение руды из недр, ее перевозка, дробление, строительство новых обогатительных фабрик и др.), объективна необходимость активизации вовлечения отходов недропользования в промышленное использование. При этом управление отходами недропользования на стадии проектирования разработки рудных месторождений становится одним из главных приоритетов развития российского горно-металлургического комплекса с ориентацией на мировой опыт использования техногенного сырья и гармонизацию законодательства.

## **1.2. Обзор мировой практики использования техногенного сырья при комплексном освоении рудных месторождений**

Вопросам использования техногенного сырья в качестве источников полезных ископаемых в мировой практике уделялось достаточное внимание еще в начале прошлого века [109]. Так, в США в 1970-х годах были задействованы установки для извлечения меди из отвальных хвостов для получения медного концентрата, содержащего 20 % меди.

Изучение зарубежного опыта показывает, что объемы вовлечения отходов в хозяйственный оборот намного больше, чем в России. В США еще 30 лет назад доля вторичного сырья составляла при производстве никеля – 25 %, меди – 55 %, вольфрама – 28 %. Схожая ситуация в области использования вторичного сырья характерна для Великобритании, Канады, Испании, ЮАР и других стран [69, 79, 108]. В Германии в отдельных отраслях доля утилизируемых отходов составляет 90–98 % благодаря разнообразным преференциям для переработчиков, включая льготные кредиты предприятиям и освобождение их от налогов и пошлин.

Во многих ведущих горнодобывающих странах уровень использования горнопромышленных отходов в качестве источника сырья достаточно высок. Доля отходов в сырьевом балансе США и Японии достигает 26 % [126]. В странах ЕС в 2002 г. доля вторичного сырья в общем объеме производства металлов составляла: по никелю – 28 %, меди – 57,9 %, вольфраму – 27 %, кобальту – 12 %.

В США в структуре потребления доля вторичного сырья при производстве многих цветных металлов за последние 15 лет выросла более чем в 5 раз [68]. На предприятиях медной промышленности в штатах Аризона, Юта и Мичиган перерабатываются хвосты обогащения с содержанием меди 0,3–0,4 %, а в штате Канзас на медном горно-обогатительном комбинате «Бьютт» осуществляется добыча меди из старых отвалов [38].

В ЮАР также широко распространена практика переработки хвостов обогащения, накопленных в количестве 230 млн т и вмещающих запасы со значительным содержанием ценных компонентов. При этом правительством страны поставлена задача повышения эффективности технологий переработки хвостов обогащения руд [68].

В странах ЕС в настоящий момент перерабатывается практически 100 % золошлаковых отходов. В Америке доля переработки таких отходов колеблется от 30 до 50 % [62]. В то же время в России этот показатель не превышает 12 % [47]. Увеличение объемов переработки золошлаковых отходов в Европе началось с введения общих для ЕС политических директив, регулирующих выбросы в угольной промышленности. В 2010 г. похожий шаг сделали страны Тихоокеанского региона (Китай, Индонезия, Австралия) – создали Азиатскую ассоциацию угольной золы (Asian Coal Ash Association), в рамках которой регулярно вырабатываются решения по переработке золошлаковых отходов. В частности, в Китае разработаны и применяются технологии получения алюминия из золы. Так, в 2012 г. был запущен масштабный проект в Тогто (Tuoketuo), где расположена крупнейшая электростанция мира. По проектным данным, завод должен ежегодно производить 240 млн т оксида алюминия (сырье для получения алюминия) и 200 млн т силиката кальция.

Актуальность эколого-экономической оценки природных ресурсов, в том числе содержащихся в отходах, признана во многих странах (Канада, Австралия, США и др.). С целью решения проблемы переработки отходов в мире создано несколько отраслевых организаций, таких как Европейская ассоциация продуктов



сжигания угля (ЕСОВА), Азиатская ассоциация угольной золы (АСАА), Польский союз переработчиков продуктов сжигания (UPS) и др. [47].

Зарубежный опыт и российская практика использования отходов свидетельствуют, что они представляют собой существенные источники получения ресурсов. В России доля использования вторичных ресурсов не превышает 1 % общего объема горнопромышленных отходов [38], причем золошлаковые отходы практически не используются, хотя переработка их с целью извлечения редких и редкоземельных металлов может приносить дополнительный доход предприятиям и способствовать снижению экологической нагрузки на окружающую среду [76].

Необходимость изучения техногенных месторождений с экономической точки зрения обусловлена следующими факторами: возрастающий спрос на минеральное сырье; истощение уже действующих месторождений полезных ископаемых; нехватка рабочих мест на горных предприятиях; высокие затраты на содержание отвалов и хвостохранилищ; высокая себестоимость обогащения руд в связи с добычей, дроблением, транспортировкой и иными затратами.

Интересен опыт заключения соглашений с владельцами участков недр в Гайане, Перу, Эквадоре по разработке золотоносных и алмазоносных участков – монолитных и техногенных отвалов. Проект предложен в Кооперативной Республике Гайана для реализации на ранее исследованных и испытанных участках, на которых среднее содержание полезных компонентов составляет 0,5–3 г/м<sup>3</sup> золота и 0,3–1,5 карата/м<sup>3</sup> алмазов.

Новым источником добычи ценных компонентов на опыте ликвидированных объектов недропользования Австралии могут стать хвосты обогащения, которые содержат в своем составе химически активные сульфидные минералы. За счет вовлечения в отработку которых не только повышается рентабельность и срок службы рудников, но и снижается влияние окружающую среду за счет сокращения объемов хвостов содержащих активные минералы вступающие в реакцию с подземными водами образуя кислотные [29]. Например, затраты на рекультивацию 1 гектара земель пострадавших от воздействия кислотных вод составляют около 6,5 млн руб. (рис. 1.3.) [29].



Рисунок 1. 3. Кислотные рудничные воды в Западной Тасмании

Опыт Тасмании также показывает значительное влияние на окружающую среду кислотных вод с наличием индия, которые формируются на площадях ранее складированных хвостов, содержащих сульфиды. При этом данный компонент на момент освоения месторождения не был рассмотрен как потенциальный вторичный продукт для добычи, который бы позволил увеличить рентабельность рудника при его доизвлечении и продаже. Что подтверждается анализом вариантов рекультивации хвостохранилища Old Tailings Dam с высокими издержками против технологии до обогащения методом выщелачивания, позволяющим до извлечь содержащий в хвостах кобальт, стоимость которого составляет порядка двух миллионов рублей за тонну. В текущих условиях повторная переработка может являться альтернативой рекультивации, за счет получения дополнительного дохода при сокращении экологического вреда против наличия только затратной части на период рекультивации.

Потенциал переработки и проекты по освоения отходов уже оцениваются на территории крупных континентов, таких как, Америка, Африка и Австралия.

Несмотря на уже имеющийся опыт освоения техногенных образований по-прежнему остается масса проблем и вопросов, которые возникают в результате оценки повторной разработки. Так, на примере отвала Monte Kali (рис. 1.4.), в составе которых остался ранее не извлечённый хлорид натрия. По состоянию на 2017 г. высота отвала составляла 530 м над уровнем моря, площадь – более 100 Га, количество накопленной соли – 236 млн т. Накопление продолжается беспрецедентными темпами – 7,2 млн т/год. Как показали исследования, образующийся рассол стал причиной засоления почвы, речных и грунтовых вод в районе расположения отвала. Из 60–100 видов беспозвоночных, когда-то здесь обитавших,

осталось только три [86]. Сложившуюся ситуацию сравнивают с экологической катастрофой. Однако калийная промышленность в регионе имеет большое значение, обеспечивая несколько тысяч рабочих мест, поэтому закрывать производство не планируется. В 2020 г. компания Kali und Salz (K+S), управляющая рудниками, продлила свою лицензию до 2060 г. и одобрила запрос на расширение Монте-Кали на 25 га. При этом в регионе имеется еще несколько менее крупных соляных отвалов, что дало региону название Земля Белых гор. Вопрос отработки техногенных месторождений поваренной соли остается открытым и требует своего решения.



Рисунок 1. 4. Техногенное месторождение поваренной соли Monte Kali в Германии [86]

Успешный опыт с 1960 года в повторной переработке щелочных металлов демонстрирует Япония, которая за счет внедрения ряда технологических процессов получает новый продукт в форме окатышей с содержанием металлов.

Чешские компании [67] уже активно применяют запатентованную технологию увеличения эффективности переработки и значительного снижения вредных выбросов за счет формирования новых продуктов из формирующихся отходов обогащения с повторным их использованием в технологической цепочке [29].

Таким образом, в промышленно развитых странах западного мира отходы недропользования рассматриваются не как источник вредного воздействия и бесполезный продукт, а как потенциальное сырье которые за счет которого можно повысить эффективность имеющихся технологий. При этом обеспечиваются актуальные условия современной экологической повестки. Для вовлечения в эксплуатацию накопленного и формируемого техногенного рудного сырья в России необ-

ходимо изыскивать способы и находить эффективные технологические и проектные решения по промышленному использованию различных видов отходов недропользования путем создания соответствующего стимулирующего механизма для недропользователей.

### **1.3. Обобщение проектных решений по вовлечению в эксплуатацию накопленного и формируемого техногенного рудного сырья**

Многолетняя работа отечественной промышленности сформировала и продолжает формировать потенциальную минерально-сырьевую базу техногенных образований с черными, цветными, редкими, драгоценными металлами и иных ценными минералами путем складирования отходов своей деятельности. И для обеспечения условий внедрения высокоэффективных, экологически безопасных и берегающих технологий необходима повторная их переработка. Уже общепризнанно, что минеральное сырье техногенных образований – это конкурентоспособный, перспективный, постоянно пополняемый минеральный ресурс [2, 7, 8, 10, 14, 22, 73, 74].

Проектирование технологии и системы разработки месторождения твердых полезных ископаемых, соблюдая условия рационального природопользования, требует комплексный подход и полноту выемки запасов, стоящих на государственном балансе. При этом должны выполняться условия промышленной безопасности с минимальным воздействием на окружающую среду. И фактор оценки возможности максимального вовлечения всех продуктов, получаемых в результате недропользования, с подбором технологий их формирования позволит обеспечить устойчивой развитие горнотехнической системы параллельно формируя новые георесурсы, имеющие промышленную значимость [100].

Чл.-корр. РАН Д. Р. Каплуновым и проф М. В. Рыльниковой [68] уже были рассмотрены потенциальные условия разработки новых геотехнологий наиболее полного освоения недр. Комплексный подход при проектировании позволяет формировать общую стратегию отработки месторождений и выстраивание цепочки технологических процессов с включением каждого потенциального георесурса оптимизируя временные показатели и размеры изыскиваемых площадей за счет

включения в работу сформированных и формирующихся горных выработок открытых и подземных горных работ. Решить вопросы эффективного вовлечения накопленных отходов в производство крайне сложно, поэтому включение техногенного сырья в эксплуатацию должно осуществляться ещё на стадии оценки разработки проекта освоения месторождения учитывая все возможные комбинации существующих технологий как отработки, так и переработки не только полезного ископаемого месторождения, но и отходов недропользования [113, 115].

В работе [66] на основе анализа практики проектирования горнодобывающих предприятий России и за рубежом с позиций экологической безопасности освоения недр и социальной ответственности недропользователя приведены принципы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений. Условие включения в отработку минерального сырья техногенных образований в целях сокращения площадей задействованных земель за счет их применений при ликвидации горных выработок требует увеличение всего технологического цикла разработки недр, добавляя новые производственные процессы. Что в свою очередь, предъявляет условия более качественного проектирования по сокращению отходов недропользования горнодобывающих предприятий при комплексном и экономически целесообразном извлечении из недр основных и сопутствующих ресурсов, использованию содержащихся в них компонентов [30, 68, 128].

Проблема комплексности охватывает четыре крупных этапа использования сырьевых ресурсов: освоение месторождения; извлечение основных и сопутствующих полезных компонентов; утилизация отходов производства; последующее полезное использование техногенных и природно-техногенных соответствующих георесурсов [83].

Георесурсы, извлекаемые из недр, можно разделить на следующие группы:

1. Основные – это ресурсы, которые не посредственно являлись целью разведки и постановки на государственный баланс для последующей их добычи.

2. Сопутствующие – это ресурсы, химически связанные или входят в состав добываемого минерального сырья и выделение которых на стадии выемки технически и технологически невозможно или нерентабельно.

3. Попутно извлекаемые – это ресурсы, находящиеся в зоне залегания основного ресурса и выемка которых неизбежна в процессе ведения добычных работ. Попутными, как правило, являются вскрышные и вмещающие породы и отходы недропользования, которые формируют отвалы с негативным воздействием на экологическую обстановку района месторождения, но имеющих ценность для иных областей производств [30].

Одной из основных задач проектирования является экономическая оценка необходимости выделения изучаемого объекта как месторождения на основе имеющихся данных, полученных по результатам разведки и (или) входе эксплуатации. Детальность и объем проведенных работ непосредственно влияют на качество разведки и сбор все возможных данных, в ходе которых тщательно изучаются минеральный и вещественный состав пород с выделением компонентов, которые могут быть использованы при обосновании способа и технологии отработки месторождений с попутным вовлечением в процесс отходов недропользования.

Практика разработки проектов показывает, что детальность и качество решений в области утилизации отходов является весьма низким и зачастую рассматривает только их складирование для последующей рекультивации из-за низкой рентабельности. Однако с учетом направлений заданных Правительством РФ в области экологии, требуется изменить каноны разработки проектной документации и принятия решений в ее составе. Необходимо производить детальный анализ вариантов возможного применения и захоронений отходов наряду с обязательными условиями, которые выполняют недропользователи в ходе освоения месторождений. Потенциал вовлечения отходов недропользования в производство является одним из вариантов повышения экономической эффективности, попутно решая проблемы экологии в области снижения влияния от вредных выбросов и нарушения поверхности при формировании объектов складирования отходов.

И каждый случай рассмотрения комплексного освоения недр должен быть

рассмотрен индивидуально, с учетом множества факторов, которые могут оказать влияние на принятие всех решений. Поэтому при проектировании вовлечения в эксплуатацию накопленного и формируемого техногенного рудного сырья важно уделять внимание: 1) выделение важных задач по утилизации и ликвидации отходов в рамках проектной документации, на основе материалов полученных в ходе изысканий по рассматриваемым участкам недр; 2) выделению последовательности процессов связанных с обращением отходов, включающих исключение или снижение их образования; 3) непосредственно использование отходов в производственных процессах; 4) после тщательного анализа о целесообразности их дальнейшего использования и получении результатов об отсутствии рентабельности, разработать наиболее рациональные варианты их ликвидации с наименьшим экологическим вредом при наименьших экономических издержках.

Проблемами освоения техногенных образований являются: значительная продолжительность процедуры лицензий на пользование недрами, из-за выдачи лицензии по заявительному принципу с проведением тендерных процедур и необходимости согласования оформляемой лицензии с большим перечнем согласующих и проверяющих органов; отсутствуют методические и нормативно-правовые акты регулирующие требования к проектированию техногенных образований; отсутствует на законодательном уровне разъяснения и регламенты действий в области налогообложения и уплаты налога на добываемое полезное ископаемое в отношении техногенных образований. Современная практика складывается из классического подхода как к изучению и проектированию целиковых месторождений, что не учитывает специфику формирования техногенного образования.

Генезис техногенных образований не только отличается от процесса формирования месторождений естественным образом в природных условиях, но и усложняется условиями складирования и длительностью хранения отходов недропользования. Например, происходит процесс консолидации и снижается влажность пород за счет испарения и миграции вод за граница техногенного образования. Что требует разработки индивидуального подхода, как к проектированию, так и к изучения данных объектов [46].

Подчеркивается важность формирования техногенных месторождений определенного качества с целью их последующего освоения, поскольку многие техногенные месторождения имеют достаточно сложное строение, характеризуются отсутствием четко выраженных закономерностей в распределении полезных компонентов по простиранию и в разрезе. Кроме того, снижение срока сохранности технологических и промышленных свойств при совместном складировании нескольких типов пород в один отвал, выветривание покрывающего слоя и пород в отвале при длительном хранении, деформации массива техногенных месторождений (оползни, обрушения, прорывы), наличие инородных предметов (различных металлических и бетонных конструкций, трубопроводов, деревьев, кустарников и пр.) в массиве техногенных месторождений, связанное со складированием отходов переработки на неподготовленную для этого земную поверхность, влечет за собой технические и технологические сложности при последующей разработке [54].

Таким образом, при проектировании формирования техногенных месторождений для облегчения вовлечения их в разработку, а также решения вопросов экономического и экологического характера, существенным является создание технологии формирования техногенных месторождений с заданными технологическими характеристиками и параметрами: количество и качество сырья, форма тела и условия залегания и др. [54, 98, 100]. По мнению И. А. Пыталова [100], отечественный и зарубежный опыт использования ранее сформированных выработанных пространств для обеспечения технических решений по размещению в них промышленных отходов с целью снижения себестоимости добычи и переработки полезных ископаемых, а также экологической нагрузки со стороны горного предприятия является доказательством необходимости целенаправленного формирования техногенных ресурсов с заданными технологическими свойствами. Однако это требует изменения структуры горнотехнической системы с целью создания в процессе добычи полезных ископаемых горнотехнических объектов с заданными потребительскими характеристиками и сроками их формирования с учетом требований конечных потребителей. В работе [100] доказано, что такая концепция обеспечивает устойчивое развитие горнотехнической системы на неопределенно



длительный период эффективной эксплуатации участка недр и расширяет область комплексного освоения недр. Формирование заданных технологических свойств техногенных смесей, складываемых в выработанном пространстве земных недр, обеспечивает не только сохранность подрабатываемых массивов, земной поверхности, гидрогеологического режима территории, но и промышленную безопасность и эколого-экономическую эффективность освоения недр [35].

Как отмечено в работе [29], первоначальным вопросом до момента проектирования является обзор рынка сбыта и поиск потенциальных потребителей, согласование технических условий, которым должен соответствовать конечный продукт.

Согласно формам статистической отчетности, заполняемые и передаваемые недропользователем в большей части уже содержат данные по отходам недропользования [29], что позволяет на данный момент оценить срок обеспеченности требуемым компонентом, но информация о потребительском рынке, которому был бы интересен данный продукт малоизвестна. Это связано в первую очередь с отсутствием ясности регуляторного инструмента на законодательном уровне и тем самым отсутствием заинтересованности недропользователей. Рынок потребления напрямую влияет на необходимую производительность по техногенному сырью. Горнотехнические показатели, технические параметры выемочно-погрузочного и транспортного оборудования являются уже косвенными легко регулируемыми показателями и могут подстраиваться под потребительские условия.

В итоге анализ рынка, расчет издержек и доходных частей непосредственно влияют на производительность при отработке техногенных образований. В свою очередь, издержки и доходная часть зависят от направления использования отходов недропользования, а именно, необходимости дополнительной переработки сырья и образование новых видов отходов или их использование в полном объеме, что подтверждается выводами авторов А. В. Архипова и С. П. Решетняка [29]. Одним из наиболее популярных направлений использования отходов недропользования является строительство дорог, производство стройматериалов, ликвидация горных выработок и строительство гидротехнических сооружений. Однако объемы потребления сырья в данных направлениях незначительны и не ста-

бильны, а также стоимость данных продуктов на потребительском рынке низка, из-за большого объема предложений, и делает данные направления менее рентабельными и мало привлекательными.

Наиболее перспективным направлением может являться повторная переработка отходов недропользования с целью доизвлечения полезного ископаемого, которое содержится в них в результате образования потерь при первоначальной добыче и переработке ввиду несовершенства технологий или по иным причинам.

Выбор способа и технологии переработки необходимо производить, только после глубокого анализа следующих условий:

- факторы формирования и условий размещения техногенных образований;
- рынок сбыта и требуемые условия, предъявляемые потребителем к конечной продукции;
- потребительская способность рынка;
- наличие развитой инфраструктуры;
- экологический фактор влияния на окружающую среду, как в момент повторной переработки, так и в случае захоронения без повторного использования.

Одной из ключевых особенностей вовлечения в повторную переработку отходов недропользования расположенных в хвостохранилищах является малая адаптация классических методик экономического обоснования, используемых при проектировании, так как они разработаны для оценки условий разработки целиковых или эксплуатируемых месторождений. Например, отходы находящиеся в хвостохранилище в полном объеме будут поступать на переработку, и в отличие от классического способа добычи не исключают издержки на процессы, связанные со вскрытием и подготовкой к выемке. Также после отработки месторождений на балансе компаний присутствует основное оборудование, которое может быть задействовано в процессе отработки техногенного образования, тем самым снижая капитальные затраты.

Всё это говорит, о технико-экономическая оценка инвестиций при освоении техногенных образований является ключевым фактором при определении рентабельности, но при этом не позволяет произвести оценку объемов, которые при-

годны для вовлечения в повторную переработку. Так как на это влияет непосредственно рынок сбыта и наличие потребителей, которые уже предъявляют требования к качеству продукции.

Ограничивающим фактором при вовлечении в повторную переработку хвостов в хвостохранилище будут являться задействованные площади хвостохранилища используемые для складирования вновь образуемых отходов и хранения вод оборотного водоснабжения.

Для достижения наибольшего экономического эффекта освоение месторождения целесообразно рассматривать комплексно с последовательным или параллельным процессом повторной переработки отходов на уже имеющихся основных мощностях, тем самым снижая текущие (эксплуатационные) и капитальные издержки [81]. При этом предпроектные экологические и социальные исследования должны быть обязательной составной частью социально-экономического обоснования с оценкой воздействия на окружающую среду. В связи с этим, по мнению авторов [81], при формировании стратегии освоения рудных месторождений первоочередными задачами являются: теоретическое обоснование геотехнологической стратегии комплексного освоения рудных месторождений на основе изучения особенностей их техногенного преобразования; создание технологических схем и способов разработки природных и техногенных месторождений на базе комбинации процессов открытой, подземной и физико-химических методов добычи руд; обоснование методики определения основных параметров техногенного преобразования природных месторождений с вовлечением в эффективную промышленную эксплуатацию техногенных месторождений, сформированных в результате складирования отходов горно-металлургического производства; установление закономерностей минерального и химического состава, распределения полезных компонентов и физико-механических свойств минерального сырья в природных и техногенных месторождениях; усовершенствование существующих и разработку новых технологических процессов комплексного освоения природных и техногенных месторождений для повышения уровня и комплексности из-

влечения ценных компонентов путем снижения их потерь при добыче и последующей переработке с утилизацией отходов производства.

Важность и сложность решения перечисленных задач заключаются в том, что комплексное освоение месторождения является сложной задачей, предусматривающей цикл добычи, переработки руд и утилизации отходов. Этот принцип должен войти в практику проектирования и строительства горнодобывающего предприятия, полностью использующего как природные и техногенные георесурсы.

Для полного использования природных и техногенных георесурсов необходимо рассматривать освоение рудных месторождений как единый технологический комплекс по осуществлению полного цикла комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий [68]. Только в этом случае результаты проектирования и реализации стратегии комплексного освоения недр принесут максимальный экономический, экологический и социальный эффект для горнодобывающей промышленности России. И принцип рационального природопользования с минимизацией потерь необходимо сохранять на всех стадиях ведения работ при повторной разработке техногенных образований, а извлечение техногенного сырья производить по технологиям, предусматривающим усреднение добываемого сырья (использовать рациональное направление развития добычных работ, усреднительные склады и другие приемы усреднения).

Имеющиеся данные о самих техногенных объектах, их качественных и количественных характеристиках, о минералого-технологической оценке техногенного сырья, результатах научных исследований, о новых технологиях и оборудовании, технологических инновациях разрознены и часто разобщены по разным источникам, базам данных, что затрудняет обоснование эффективной схемы переработки сырья техногенного месторождения и принятие технологических решений по реализации проектов переработки отходов [135]. Обезвреженные минеральные отходы могут быть использованы в качестве сырья или добавок к сырью (рециклинг); для возврата в производственный цикл (регенерация или восстановление); извлечения полезных компонентов (рекуперация); использования в качестве топлива (кроме уничтожения сжиганием); использования в качестве изоли-

рующего материала для закладки выработанных пространств; для благоустройства территорий, строительства и ремонта дорог, укрепления дамб и т. п.; для консервации в безопасном состоянии с целью использования в ближайшем или отдаленном будущем. Предварительная оценка пригодности и экономической целесообразности использования техногенного минерального сырья по одному или нескольким перечисленным направлениям и в целом выбор общей стратегии обращения с отходами проводится на основании комплексного анализа многих факторов: геологических, минералогических, технологических, нормативно-правовых, экологических, социальных, экономических. Причинами, сдерживающими развитие использования отходов, могут быть: высокая себестоимость добытых полезных ископаемых из техногенных месторождений; неудовлетворительное состояние транспортной инфраструктуры (выражающаяся в высоких транспортных издержках); отсутствие потребителей вторичного и техногенного сырья; отсутствие заинтересованности недропользователей, низкая достоверность информации о качестве техногенного сырья.

Таким образом, для повышения эффективности освоения текущей сырьевой базы государства и её пополнения необходима разработка новых методик оценки и проектирования техногенных образований. Требуется углубленная проработка решений с анализом экономических условий и окружающей инфраструктуры, а также обязательный учет факторов со стороны экологии и социальной обстановки в районе. Что является основным определяющим фактором, оказывающим влияние на выбор решений при проектировании условий повторного вовлечения техногенных образований комплексно с оценкой всех взаимосвязанных областей, на которые может быть оказано влияние (экономика, развитие региона, экологическая обстановка и пр.). Следует предусмотреть обеспечение повышения экологической эффективности горного производства на основе рационального использования минерального ресурса – как обязательного условия технологических решений по разработке техногенных образований со всесторонним обоснованием параметров принимаемых проектных решений.

#### **1.4. Параметры известных технологических решений по разработке техногенных образований и факторы, определяющие их выбор**

Задачи по сохранению отходов недропользования с соблюдением требуемых качественных показателей взаимосвязаны с развитостью и возможностями технологий переработки. Для поддержания качественных характеристик отходов недропользования со стабильными показателями процессов обогащения требуется их разделение по типам пород. В текущей практике данное условие выполнялось только при разделении балансовых, забалансовых и попутных полезных ископаемых, четвертичных отложений с выделением глин и песков подходящих для производства строительных материалов и плодородного слоя почв. При этом текущая обстановка рынка при росте цен на драгоценные металлы и сокращению количества богатых месторождений при условии совершенствования технологий недропользователями вовлекаются в отработку запасы с более низкими содержаниями (снижение бортового содержания) создает условия для вовлечения в повторную переработку ранее со складированных отвалов недропользования. Данные отвалы мало пригодны для их разработки с последующей переработкой и, следовательно, необходимо выполнять условие при формировании отвалов с потенциально пригодными содержаниями к возможности их дальнейшего вовлечения в эксплуатацию. К примеру, горную массу, вынимаемую в зоне контактов «руда-порода» нужно складировать отдельно, при этом возможно целенаправленное увеличение потерь [29]. Данное условие необходимо выполнять с зонами, не включенными в оконтуривание запасов, но имеющими высокие содержания полезных ископаемых. Хотя в большинстве случаев это позволит стабилизировать качество сырья, которое является потенциальным для повторной переработки, но при рассмотрении с точки зрения геомеханики валовое складирование с перемешиванием разнотипных пород приводит к увеличению показателей устойчивости, а также создает более благоприятные условия для рекультивации [143]. Такое формирование отвалов можно рассматривать и как первичную стадию классификации.

Для расширения функциональных возможностей горно-экологической концепции безотходного производства предложена «Стратегия рационального и ком-

плексного использования минерального сырья», разработанная авторами [147] на основе наилучших доступных технологий (НДТ). В основе технологий переработки всевозможных видов отходов лежат следующие методы:

1) механические, широко применяемые при подготовке отходов (измельчении, агрегировании, сепарации и т. д.);

2) гидродинамические, используемые для разделения смесей отходов и перемещения их в различных аппаратах и часто сочетающиеся с тепловыми, механическими и физико-химическими процессами;

3) тепловые, являющиеся неотъемлемой частью многих способов переработки отходов и используемые при их сжигании и пиролизе, при процессах с выделением и утилизацией тепла или необходимостью охлаждения отходов;

4) диффузионные лежащие в основе утилизационных способов, при которых осуществляется перенос массы вещества путем дистилляции, сорбции, сушки, кристаллизации, электролиза, выщелачивания и других процессов;

5) химические, используемые при окислении и восстановлении отходов, переводе материала из одного физического состояния в другое, для изменения каких-либо характеристик веществ и т. д.;

6) биохимические, используемые для утилизации отходов с помощью микроорганизмов. Это наиболее сложные процессы, реализуемые в комплексе с рассмотренными выше способами обработки отходов.

Наименее затратным и наиболее известным и апробированным методом доизвлечения ценных компонентов из отходов недропользования является флотация. Тем не менее, результаты флотации хвостов текущего производства свидетельствуют о необходимости разработки новых реагентных и технологических режимов с учетом специфики свойств вторично измененных сульфидных минералов. При флотации сульфидов цинка, меди и свинца в качестве основного собирателя чаще используют бутиловый ксантогенат, дополнительного – трансформаторное масло, пенообразователя – смесь эфиров полиэтиленгликолей. В результате флотации получают концентраты, содержащие 26–28 % Cu при извлечении 64 % от общего содержания в хвостах, 46–47 % Pb при извлечении 77–83 % и 55–56 % Zn при извлечении 76–81 % [118].

В последние годы основные исследования академических и отраслевых институтов были направлены на разработку высокоэффективных энергосберегающих методов и оборудования для интергранулярного разрушения горных пород и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов вплоть до микро- и наноразмеров, а также на создание новых экологически безопасных процессов комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенных образований на основе комбинирования современных методов обогащения, пиро- и гидрометаллургии [26, 77, 119, 137].

Отходы добычи и обогащения минерального сырья по вещественному составу и технологическим свойствам значительно отличаются как от рудного сырья, так и друг от друга, что требует особого подхода и поиска новых технологических решений для их переработки. Сложность таких объектов обусловлена многообразием факторов, под влиянием которых они формируются, сниженной (по сравнению с рудным сырьем) контрастностью свойств минеральных фаз и наличием агрегатов, разделение которых невозможно с помощью традиционно применяемых технологий [138]. Изучение минерального состава, вкрапленности частиц, их фазового состава осуществляется с помощью современных физических, физико-химических и химических методов исследования. Исследование природных структурных характеристик руд, минеральных агрегатов и раскрытых фаз во всех циклах переработки позволяет получать достоверную и полную информацию о технологических свойствах техногенного сырья, оптимизировать процесс рудоподготовки и разделения минералов и дать научно обоснованный прогноз обогащения природного и техногенного минерального сырья [139, 140]. При переработке бедных руд и техногенного сырья наиболее перспективна рудоподготовка на основе радиометрических методов опробования, сортировки и сепарации. В этом случае все операции технологического цикла строятся на единой основе – использовании в качестве критерия распознавания состава и разделения ядерно-физических свойств минерального вещества, из которых для каждой руды может быть подобран наиболее эффективный способ [137, 125].

К. А. Аверьянов [23] отмечает, что при комплексном освоении месторождений с повторной переработкой отходов недропользования, выбор технологий раз-



работки требуется производить с учетом всех факторов условий мест эксплуатации месторождений и формирования техногенных образований, состава руд и отходов недропользования. С учетом данных факторов, оказывающих влияние на выбор направления утилизации данных отходов он выделяет пять групп направлений утилизации, определяющих целесообразность и перспективность вовлечения в повторную разработку техногенных образований и отходов недропользования.

Первая – это технологии, включающие ликвидацию горных выработок открытых и/или подземных горных работ с заполнением вмещающими породами или хвостами обогащения, не имеющих на данный момент потребительной ценности и спроса. Данные технологии позволяют снизить площади отчуждаемых земель, повысить устойчивость горных выработок за счет создания подпоров, а также рекультивировать задействуемые площади. Данные геотехнологии предусматривают процессы по снижению влажности отходов недропользования, транспортированию с отсыпкой в выработки и изоляции подземных выработок, в районе складирования.

Вторая – технологии, включающие формирование техногенных образований в карьерах и горных выработках при подземном способе освоения с определенными технологическими свойствами для последующего использования за границами ближайшего периода времени. Данные технологии предусматривают обустройство горнотехнических конструкций для отсыпки отходов недропользования с учетом устойчивости основания, перемычек, ГТС и откосов с принятыми параметрами, при выполнении условий рациональной и экономически выгодной отработке сформированных техногенных образований в перспективе. Данные геотехнологии предусматривают регулировку влажности и физико-механических свойств отходов недропользования, наведение селекции при складировании с соблюдением условий по качеству, контроль структуры массива (например, создание тектонических нарушений, пор и условий для повторного окисления за счет применения различных реагентов).

Третья – технологии, включающие формирование техногенных образований в карьерах и горных выработках при подземном способе освоения с определенными технологическими свойствами для последующего использования в бли-

жайший период времени. Данные технологии предусматривают процессы обезвоживания, окомкования или первичного обогащения включающее дробление и классификацию на грохотах с регулировкой по крупности состава для регулировки фильтрационных показателей техногенных образований и обеспечения условий для последующего опрыскивания и сбора раствора, например, в случае применения кучного или скважинного выщелачивания. Использование кучного или скважинного выщелачивания является наиболее рациональной при данных технология при условии регулировки реагентного режима и выполнении мероприятий по интенсификации процессов обогащения.

Четвертая – технологии, включающие освоение со складированных отходов недропользования прошлых лет с обустройством новых техногенных образований с требуемыми свойствами и вещественным составом, структурой массива с целью повторного вовлечения их в разработку. Данные технологии основываются на подробном изучении технологических и геологических свойств отходов недропользования с определением зависимостей распределения компонентов в теле техногенных образований, изменения физико-механических свойств. На этой основе выбираются технологии эксплуатации и оптимальной схемы первичной переработки данных отходов различными методами (автоклава, выщелачивание или чанового).

Пятая – технологии, применяемые на месторождениях в результате освоения которых имеются временно неактивные или некондиционные запасы. Например, целики при комбинированном способе отработки между карьером и подземными горными выработками, необходимость которых обусловлена высокой нарушенностью массивов, наличием аэродинамических связей очистного пространства с атмосферой карьеров, низкой устойчивостью подработанных бортов карьеров, находящихся в предельном состоянии, и характеризуется повышенными показателями потерь и разубоживания.

1–4 группы геотехнологий активной утилизации предусматривают формирование с последующей повторной отработкой при наведении селекции по видам или группам отходов, с необходимой подготовкой, перевозкой в выработки, регулировкой свойств, состава и структуры массива в процессе отсыпки и хранения

учитывая воздействие внешних факторов для последующего рационального и экономически целесообразного способа отработки и переработки техногенных образований. Эти геотехнологии должны в полной мере учитывать особенности физико-механических, химических и технологических свойств утилизируемых отходов.

Основное влияние на выбор технологической схемы промышленной эксплуатации отходов переработки руд цветных металлов оказывают условия их формирования, складирования и хранения. По этим признакам отходы разделены на четыре вида: текущие, находящиеся на выходе с обогатительной фабрики после завершения всех процессов обогащения; затопленные – размещаемые в действующем, постоянно пополняемом хвостохранилище, под водой с изменяющейся концентрацией элементов, Eh и pH среды в зависимости от режима намыва и природно-климатических условий; законсервированные – размещенные в хвостохранилище, в котором осуществляются процессы осушения и консервации; лежалые – находящиеся в течение определенного времени в законсервированном хвостохранилище и подвергшиеся процессам вторичного минералообразования и изменению структуры массива.

Исследованиями доказано [23], что наиболее перспективными геотехнологиями утилизации тонкодисперсных отходов обогащения руд для доизвлечения из них металлов являются физико-химические. Для их эффективной реализации целесообразно формирование техногенных месторождений в выработанном пространстве карьеров и шахт с целью освоения в краткосрочной перспективе либо в будущем [64, 101]. Загрузка камер некондиционным сырьем – рудами, ранее относимыми к забалансовым, по мере подземной разработки балансовых запасов позволяет формировать в подземных условиях техногенные образования с заданными характеристиками и качеством сырья. В целом, при комбинированной разработке рудных месторождений техногенное минеральное сырье, извлекаемое одним из способов разработки, должно системно использоваться как необходимая составляющая технологического процесса последующей геотехнологии. В работе [23] представлены типовые геотехнологические модули активной утилизации техногенного сырья, сочетание которых, позволило сформировать прототипы

горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений для различных горно-геологических и горнотехнических условий.

Исследованиями, представленными в работах [102, 112, 117, 150], установлено, что условия залегания и структурные характеристики техногенных массивов, распределение ценных компонентов, наличие скрытых обводненных зон, криогенность толщи и характер ее формирования определяют, с одной стороны, выбор преимущественного направления развития фронта горных работ с позиций экономической эффективности и безопасности, с другой – принципиально новых технологий по факторам энергоэффективности, повышения маневренности горнотранспортной техники и исключения ее простоев, обеспечения горных предприятий сырьем заданного качества и ликвидации экологически опасных объектов с утилизацией конечных отходов после повторной переработки техногенного сырья.

В работе [141] предложена технология ускоренной геологической оценки объектов, основу которой составляют мобильные проходческие комплексы для объемного и валового опробования сырья, позволяющие вести геологическую оценку техногенных объектов с попутной их отработкой в рамках разведочно-эксплуатационных работ. В развитие идеологии создания модульной техники для оперативной оценки, разведки и разработки техногенных золотосодержащих объектов предложен модульный вариант с использованием в качестве обогатительного узла центробежных концентраторов. Для обогащения окисленных и цементированных хвостов предложен вариант прицепного обогатительного модуля с предварительной дезинтеграцией промываемого материала шарами.

Для разработки золото-мышьяковистого хранилища отходов добычи месторождений Южного Урала предложена [60] методика обоснования параметров технологии разработки неоднородных по составу, свойствам и структуре техногенных образований, предусматривающая проведение опережающей оценки структурной и фазовой изменчивости сырья, районирование техногенного объекта с моделированием выявленных участков неоднородностей и подбором соответствующих технологических схем выемки лежалых отходов переработки золотосодержащих руд. Согласно методике детального обследования техногенного массива [103] выбран механизированный способ разработки хвостохранилища с вы-

емкой сырья, начиная с периферии техногенного объекта, аналогично веерной сплошной рассредоточенной системе разработки с подвиганием фронта работ с юго-востока на северо-запад. Высота уступа по условиям безопасного ведения открытых работ принята 15 м и предусматривает деление на подступы. Добыча техногенного сырья из хранилища отходов переработки руд усматривает проведение комплекса подготовительных работ по предварительному осушению рабочей зоны техногенного образования. В целях определения возможности и перспективности переработки лежалых техногенных отходов золотодобычи в едином цикле с добычей коренных руд месторождений Южного Урала проведены исследования процессов выщелачивания драгоценных металлов из техногенного сырья по схеме, принятой на действующей ЗИФ. Весь объем формируемых отходов обогащения после обезвоживания используется в технологии закладочных работ.

Пастообразное складирование хвостов путем их сгущения при добавлении реагентов уже известна на мировой и Российской практике [29]. Обезвоживание хвостов до пастообразного состояния производится за счет добавления флокулянтов (реактивов) на фабриках. Например, изначально сгущение хвостов предусматривалось до плотности 65% твердого, высота подачи хвостов производилась составляла 25 м и складирование осуществлялось конусообразным образом при диаметре конуса 1 км и более. Плюс данной технологии заключался в отсутствии необходимости строительства гидротехнических сооружений. Однако, данный способ имеет недостаток при рассмотрении в качестве потенциального сырья для вторичной переработки имеет недостатки в способе формирования и отсутствии пригодности для повторного вовлечения. Наиболее прогрессивным методом в настоящий момент является метод с применением фильтр-прессов до влажности 8-20% с последующим транспортированием различными видами транспорта на места складирования. Достоинством такой технологии относятся сокращения затрат в области оборотного водоснабжения; снижение изыскиваемых площадей под места складирования; отсутствие потребности в строительстве ГТС; высота складов может превышать ГТС; коэффициент запаса устойчивости выше относительно ГТС при сопоставимых параметрах; данный способ складирования наиболее удобен для повторного вовлечения в эксплуатацию.

АО «Ковдорский ГОК» перерабатывает комплексные железосодержащие руды, в которых помимо магнетита присутствуют апатит, бадделеит, кальцит и форстерит. Хвосты обогащения размещаются в двух хвостохранилищах. Обогащение хвостов мокрой магнитной сепарации (ММС) и руды основного производства организовано по отдельной схеме: в течение примерно 2/3 месяца подают руду из карьера, а 1/3 месяца обогащают хвосты ММС с выделением апатитового и бадделеитового концентратов. Вовлечение в переработку лежалых хвостов позволило предотвратить резкое снижение выпуска апатитового концентрата, а выпуск бадделеитового концентрата увеличить в 1,9 раза. Повторная переработка отходов горно-обогатительного комплекса обеспечивает получение дополнительно: апатитового и бадделеитового кондиционных концентратов (осуществляется в настоящее время); магнийсодержащего продукта (форстеритового концентрата) с содержанием MgO до 50 %, который может быть использован в качестве сырья для приготовления огнеупорных смесей, а также для производства магнийсодержащих химических удобрений (перспектива); продукта, содержащего мелкозернистую слюду – флогопит (перспектива). Технологии обогащения форстеритового и слюдяного концентратов разработаны с использованием флотации и гравитационных способов обогащения [47].

Особенный интерес представляют направления по производственному рециклингу с подготовкой и вовлечением в разработку техногенных месторождений не только с целью извлечения ценных компонентов, а для последующего использования переработанных пород, в том числе для формирования техногенного ландшафта и иных целей [48, 100]. Следует отметить, что термин «рециклинг» как повторный цикл (более точный перевод с лат. – противоположное действие) не соответствует процессному подходу к формированию добавленной стоимости. На повторном цикле производства (переработка отходов) формируются все затраты, учтенные в составе себестоимости этих работ, по принципу «новый процесс – новая продукция – новые затраты».

Имеющаяся практика переработки техногенного минерального сырья свидетельствует о невысоких в целом показателях разделения по существующим технологическим схемам с использованием традиционных разделительных процессов и из-

вестных технологических решений, что снижает инвестиционную привлекательность этого нового вида минерального сырья и потенциальную заинтересованность недропользователей. Это может быть объяснено недоучетом тех специфических технологических свойств и особенностей минерального состава горнопромышленных отходов, сформировавшихся как в технологических процессах переработки минерального сырья, так и при долговременном хранении. По мнению О. Е. Горловой [50] предельно обосновано построение технологических схем переработки труднообогатимого техногенного минерального сырья на основе комбинирования нескольких механических или механохимических методов разделения в соответствии с наиболее контрастными разделительными признаками минерального сырья техногенного происхождения и в максимальной степени адаптированных к выявленным специфическим особенностям вещественного состава и технологических свойств техногенного сырья.

Убедительно доказано [28, 49, 72, 75], что техногенное сырье всегда является минералогически и технологически сложным объектом для разделения и требует особого подхода к поиску решений и приемов как на стадии достоверной технологической оценки, так и на стадии вовлечения в экологически ориентированную ресурсосберегающую переработку. Переработка техногенного сырья по существующим традиционным технологиям во многих случаях характеризуется низкими показателями, невысокой рентабельностью и повторным образованием отходов. Минералого-технологическая оценка техногенного сырья должна производиться на основании новых научных знаний о специфике изменения технологических свойств и преобразования минеральных ассоциаций в процессе формирования и хранения техногенных ресурсов с использованием средств современной технологической минералогии [76, 136]. Широкий набор средств современной технологической минералогии позволяет с необходимой полнотой и достоверностью исследовать минеральный состав техногенных ресурсов, их текстурно-структурные характеристики, установить с использованием современных прецизионных методов анализа особенности вторичных минеральных изменений [110], которые будут обуславливать поведение минералов и минеральных ассоциаций в различных разделительных процессах. Каждый техногенный минеральный объект

как локализованное в пространстве скопление того или иного вида полезных ископаемых индивидуален по набору качественно-количественных характеристик [50], поэтому при выборе и обосновании параметров технологии переработки техногенного сырья нельзя применить «принцип аналогии», как в случае руд одного геолого-промышленного типа, когда генетические типы рудных формаций и обогатимость минеральных комплексов тесно взаимосвязаны.

Анализ результатов исследований показал, что в отличие от природного, техногенное сырье представляет собой возобновляемый георесурс, не требующий затрат на извлечение из недр и первичную дезинтеграцию, что обуславливает возможность снижения издержек горнопромышленных производств. Это, в свою очередь, определило необходимость вовлечения в эксплуатацию техногенных образований при современном подходе к обеспечению полноты и комплексности освоения месторождений и снижению ущерба, наносимого экосистеме при добыче и переработке минерального сырья (табл. 1.2).

На основании исследований можно сделать вывод, что научно-технологическое решение проблемы рационального и комплексного использования отходов горно-перерабатывающего комплекса ранее эксплуатируемых месторождений выдвигается на одно из первых мест в дальнейшем развитии горной науки.

Результаты научных исследований по повышению эффективности и обеспечению экологической сбалансированности освоения рудных месторождений указывают на необходимость обязательного рассмотрения в проектах разработки месторождений условий вторичного использования техногенного сырья с комплексным извлечением ценных компонентов либо без вторичного использования, но с обязательной безопасной утилизацией отходов.

Однако вопросы правового совершенствования правовых основ в сфере обращения с отходами недропользования и управления ими не получили полного отражения в работах.



Таблица 1.2. Систематизация направлений исследований по управлению отходами недропользования для обоснования технологий их добычи и последующей утилизации

Авторы	Направление научных исследований	Полученные решения
Д. Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, Д. Н. Радченко	Совместное вовлечение в эффективную промышленную эксплуатацию природных месторождений и техногенных образований	Предложены горнотехнические системы с полным циклом формирования и извлечения из недр природных и техногенных георесурсов, обоснованы положения по маневрированию интенсивностью эксплуатации георесурсов
О. Е. Горлова	Развитие научно-методологических основ создания ресурсосберегающих, экологически ориентированных технологий переработки горнопромышленных отходов для повышения полноты и комплексности использования техногенного минерального сырья	Научно обоснован принцип построения схем переработки горнопромышленных отходов, заключающийся в комплексном анализе системы имеющихся свойств отходов и применении комбинации физических, физико-химических, химических процессов разделения отходов в соответствии с наиболее контрастными технологическими свойствами
Л. В. Шумилова, А. Н. Хатькова, К. К. Размахин, В. Г. Черкасов	Расширение функциональных возможностей горно-экологической концепции безотходного производства	Предложена стратегия рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий с позиции оценки жизненного цикла отходов горного производства
И. А. Пыталев	Обоснование выбора режима горных работ при проектировании горнотехнической системы, обеспечивающего производственную мощность по полезным ископаемым и динамику формирования техногенных объектов с заданными потребительскими характеристиками с учетом физико-механических свойств горных пород, агрегатного состояния и класса опасности складированных отходов	Предложена классификация технологических схем совокупной эксплуатации природных и техногенных георесурсов по виду создаваемых объектов, позволяющая на разных этапах освоения месторождений определить очередность вовлечения в разработку отдельных участков для заблаговременного развития работ на участках с требуемыми физико-механическими свойствами горных пород и потребительскими характеристиками формируемых техногенных георесурсов
А. М. Пешков	Разработка методического подхода к обоснованию требований к качеству природного и	Предложена методика определения требований к качеству медно-колчеданного сырья, вовлекаемого в

Авторы	Направление научных исследований	Полученные решения
	техногенного минерального сырья при комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии	эксплуатацию геотехнологией, обеспечивающей повышение полноты и комплексности освоения месторождений медно-колчеданных руд и сопутствующих техногенных образований
А. В. Архипов, С. П. Решетняк	Исследование проблемы освоения техногенных месторождений минерального сырья и его сохранения для будущего в техногенных месторождениях, сформированных на принципах минимизации энергетических и экономических затрат	Разработаны научно обоснованные принципы и рекомендации по размещению отходов с формированием потенциальных техногенных месторождений при максимальном сохранении минеральных ресурсов, способствующие быстрому и эффективному вовлечению их в эксплуатацию
М.В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, К. Н. Залевская	Решение вопросов применения принципиально новых технологий эксплуатации техногенных образований для обеспечения горных предприятий сырьем заданного качества и ликвидации экологически опасных объектов	Разработан способ обследования хвостохранилищ, расширяющий диапазон исследовательских возможностей при геологическом описании техногенного объекта и гарантирующий достоверность получаемой информации о строении и вещественном составе массива
Ф. Д. Ларичкин. В. А. Кныш	Исследование проблемы вовлечения техногенных отходов в хозяйственный оборот и оценка возможности ее решения с учетом противоречий горного и экологического законодательства	Определена и дополнена классификация техногенных отходов, предложена типология техногенных минеральных объектов, рассмотрен методический аппарат оценки экономической эффективности комплексного использования минерального сырья
С. В. Литвинцев	Обоснование необходимости и целесообразности внедрения инновационной технологии разработки техногенных россыпей на основе формирования зоны концентрации ценных компонентов в массиве пород отвальных комплексов	Разработаны направления модернизации технологических процессов на промысловых приборах, позволяющие увеличить извлечение золота и других ценных попутных компонентов в едином технологическом цикле
И. Г. Полянская, В. В. Юрак, В. Е. Стровский	Совершенствование методической базы оценки уровня сбалансированности недропользования за счет учета техногенных минеральных образований	Предложена методика оценки уровня сбалансированности недропользования, учитывающая отходы недропользования на основе постоянного мониторинга динамики ключевых показателей
К. А. Аверьянов	Обоснование методики выбора	Предложена классификация направле-

Авторы	Направление научных исследований	Полученные решения
	геотехнологий активной утилизации техногенного сырья при проектировании комплексного освоения рудных месторождений	ний активной утилизации некондиционного медно-колчеданного сырья в зависимости от условий его формирования и ценности, разработана методика выбора технологий активной утилизации техногенного сырья
В. Н. Уманец	Создание научно-методических основ комплексной оценки эффективности освоения техногенных минеральных ресурсов, формирование на их базе новых и совершенствование существующих методов и средств повышения эффективности освоения техногенных месторождений	Разработана научная концепция решения проблемы комплексного освоения техногенных месторождений, определены место и роль в системе рационального ресурсопользования формируемых техногенных месторождений, предложены методические рекомендации по проведению разведочных работ для оценки кондиционности техногенных ресурсов
В. А. Чантурия И. В. Шадрунова, О. Е. Горлова, Е. В. Колодежная	Совершенствование процессов в технологиях комплексной и глубокой переработки минерального сырья сложного вещественного состава, вовлечение техногенных минеральных ресурсов в эффективную переработку в условиях ключевых экономических вызовов	Разработана ресурсовоспроизводящая технология извлечения марганца из кислых подотвальных вод ГОКов Южного Урала с получением кондиционных товарных продуктов и очищенной воды, разработана принципиальная схема комплексной переработки железосодержащих шламов доменного производства

Анализ результатов выполненных работ и современных научных исследований в области обращения с отходами горно-обогатительного производства позволяет сделать вывод, что промышленное внедрение геотехнологий формирования и разработки техногенных образований сдерживается несовершенством нормативно-правового и налогового законодательства в сфере обращения с отходами недропользования и отсутствием апробированных методик выбора технологий по управлению металлосодержащим техногенным сырьем. Это определило выбор цели и задач диссертации, а также методов их достижения.

### 1.5. Цели, задачи и методы исследования

Основной эффект от освоения техногенных объектов заключается в снижении вредного воздействия на окружающую среду. В то же время сформированные техногенные месторождения занимают особое место в системе недропользования,

так как обеспечивают сохранность рудных и сопутствующих им ценных компонентов, повышают комплексность освоения недр.

Анализ практики переработки и комплексного использования горнопромышленных отходов показывает, что в настоящее время практический опыт использования отходов недропользования в России весьма ограничен. В целом, по сути, отсутствуют реализованные в промышленных масштабах крупные проекты. Проблема отходов горнопромышленного производства приобрела значение ключевой как для эксплуатации накопленных техногенных образований с целью доизвлечения содержащихся в них ценных компонентов и, соответственно, сбережения и воспроизводства природного минерального сырья, так и для охраны недр, окружающей среды и экологической безопасности страны.

Целью исследования является развитие научно-методических основ технологических решений по управлению отходами недропользования в проектах разработки рудных месторождений для обеспечения эффективного промышленного безопасного освоения техногенных георесурсов и охраны окружающей среды. Для достижения поставленной цели выполнены:

- 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 влияние на выбор параметров технологических решений по эксплуатации техногенных рудных образований в комплексе с освоением базовых рудных месторождений;
- исследование влияния вещественного состава техногенного сырья на выбор проектных решений по его промышленному использованию;

- разработка алгоритма выбора технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования;
- разработка научно-методических и практических рекомендаций по повышению эффективности и обеспечению экологической сбалансированности освоения рудных месторождений;
- оценка экономической эффективности реализации разработанных технологических решений.

**Методология и методы исследования.** Достоверность выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе, подтверждает применение комплекса 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-экономического анализа. 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 освоения рудных месторождений: Сибайского, Тырныаузского, Новотроицкого.

## ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРАВОВОЙ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ОБРАЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

### 2.1. Понятийный аппарат и классификация техногенных георесурсов, образований и минерального сырья

Как отмечено ранее, острота проблемы вовлечения отходов горной промышленности в повторную разработку заключается в имеющихся на территории РФ большого объема отходов недропользования расположенных в хвостохранилищах, большинство которых приходится на область горной металлургии. Актуальность постановки данной проблемы на уровне всей страны тесно связана с развитием ряда регионов РФ с большой долей расположения горнодобывающих предприятий с активно сокращающейся минерально-сырьевой базой и большим воздействием на окружающую среду от накопления отходов недропользования. Безальтернативным условием устойчивого развития горнопромышленных районов является вовлечение в эксплуатацию техногенных образований [92].

Вопрос вовлечения отходов недропользования в эксплуатацию требует особого внимания как со стороны государственных и надзорных органов, так и со стороны недропользователей. Его решение необходимо рассматривать системно и комплексно с учетом всех воздействующих факторов [110].

Одним из факторов, сдерживающих темпы вовлечения техногенных георесурсов в промышленный передел, является несовершенство понятийного аппарата, двойственность и неоднозначность толкования понятий как в специальной литературе, так и в нормативно-правовых актах (НПА) [110]. Например, в 2010 г. Магаданская областная Дума обратилась в Государственную Думу РФ с инициативой упрощения эксплуатации техногенных россыпей и предложила свой проект федерального закона № 386903–5 «О внесении изменений в закон РФ «О недрах» в части разработки техногенных россыпей». Депутаты Госдумы отклонили предложенный законопроект, из-за отсутствия важности для развития россыпной золотодобычи, а также отсутствия в российском законодательстве понятия «техногенные россыпи». Такое основание можно назвать формальным и недальновидным, так как

решение вопроса направлено на повышение эффективности экономики страны. Очевидно, что решение проблемы управления отходами недропользования требует не только совершенствования понятийного аппарата и его легитимизации.

Анализ терминов в области отходов недропользования, техногенных георесурсов, используемых в литературных источниках, в том числе в словарных изданиях [51], а также в НПА позволил обобщить и уточнить ряд понятий, связанных с обращением отходов недропользования в свете перспектив комплексного освоения недр [110].

Особое внимание следует уделить понятию «техногенное месторождение», поскольку касается обращения с техногенными минеральными образованиями, ценность которых не в полной мере подтверждена и может быть установлена только в процессе разработки техногенного объекта с внедрением комплекса конкретных технико-технологических решений. Условия складирования и хранения техногенного сырья не сопоставимы с условиями освоения природных месторождений ТПИ, так как формируются на основе совершенно разных явлений: природные месторождения – в естественных геологических процессах с достаточно хорошо изученными закономерностями, техногенные образования – как правило, в ходе хаотичного складирования отходов недропользования.

*Месторождение* – это природное скопление полезного ископаемого в земной коре или на земной поверхности, разработка которого по объемам запасов и качеству минерального сырья экономически целесообразна известными технологиями добычи и переработки [51].

Стандартизованные термины «техногенное месторождение» и «техногенное минеральное образование» приведены в ГОСТ Р 59071–2020 «Охрана окружающей среды. Недра. Термины и определения», который является основополагающим по отношению к Закону РФ «О недрах» и устанавливает термины и определения в сферах отношений, возникающих у хозяйствующих субъектов, в том числе при распоряжения отходами добычи полезных ископаемых и связанными с ними перерабатываемыми производствами. Термины, установленные настоящим стандартом, рекомендуются для применения в нормативно-правовой, нормативной, технической и проектно-конструкторской документации [93]. В соответствии с указанным ГОСТом:

**техногенное месторождение** – образованные в результате изучения, добычи, переработки и обогащения полезных ископаемых скопления отходов горнодобывающих, горно-перерабатывающих и энергетических производств, содержащих полезные компоненты и (или) полезные ископаемые, расположенные на поверхности земли или в горных выработках, или в хвостовых хранилищах, получившие в установленном порядке геолого-экономическую оценку;

**техногенные минеральные образования** – скопления минеральных образований, горных масс, жидкостей и смесей, содержащих полезные компоненты, являющиеся отходами горнодобывающих и обогатительных, металлургических и других видов производств.

Следует отметить, что в общепринятом определении «техногенные месторождения» не говорится о масштабе накопления отходов, необходимости и экономической целесообразности их извлечения известными технологиями, что противоречит устоявшемуся понятию «месторождение полезных ископаемых» [51]. Сам термин «месторождение» указывает на то, что этот объект развился на обозначенном месте. Но нельзя назвать «местом рождения» образование, сформированное в результате техногенной деятельности и хаотичного складирования всевозможных отходов недропользования, и таких техногенных образований на территории России большинство.

По факту к техногенным месторождениям можно отнести лишь те, которые изначально сформированы в заданном месте для последующего эффективного вовлечения в эксплуатацию с учетом накопления объемов, формирования качественных и технологических свойств, физико-механических характеристик. По сути, таких месторождений в России нет, как и технологий их разработки: известны лишь результаты научных проработок и опытно-промышленных испытаний подобных технологий, свидетельствующие о возможности их эффективной реализации.

ГОСТ Р 59071–2020 также уточняет понятие ТМО в зависимости от вида производства:

**техногенные минеральные образования горнодобывающих производств** – отходы добычи твердых полезных ископаемых, образуемые в результате выделения твердых полезных ископаемых из горной массы в процессе их



извлечения из недр {вскрыша, вмещающая порода, пыль, бедная (некондиционная) руда};

**техногенные минеральные образования горно-перерабатывающих производств** – отходы переработки, образуемые в результате деятельности горно-обогатительных производств (хвосты и шламы обогащения) и (или) химико-металлургических производств (шлаки, кеки, клинкеры и другие аналогичные виды отходов металлургического передела);

**техногенные минеральные образования энергетических производств** – твердые отходы, образующиеся в результате сгорания топлива при производстве электрической и (или) тепловой энергии генерирующими установками (золы и золошлаки).

Заметим, что все ТМО – это не отходы добычи и переработки минеральных ресурсов, а техногенные объекты, в которых накоплены или складированы вышеуказанные отходы. В зависимости от сроков стояния техногенные объекты делятся на старогодные и эксплуатационные – находящиеся в эксплуатации в текущем времени, а в зависимости от состояния – подразделяются на осушенные, затопленные, рекультивированные.

Также отметим, что термин «техногенное месторождение» не всегда правильно понимать как экономически целесообразное к разработке скопление отходов на земной поверхности. Такое месторождение является собственностью недропользователя, который его сформировал, однако далеко не всегда накопленные отходы ставятся на баланс учтенных запасов предприятия – недропользователя. Кроме того, анализ накопленных в России техногенных объектов указывает, что в настоящее время они не относятся к недропользователю по причине ликвидации предприятия, а сформированные техногенные образования в зависимости от их значимости перешли в бюджеты различных уровней (региональный, областной или федеральный), не имеющие заинтересованности в разработке этих объектов. Более того, значительная часть техногенных образований с настоящее время не учтена ни в одном бюджете. В целом в России отсутствует единая система учета и полного реестра техногенных образований с указанием объемов складированного техногенного сырья, его качества, минерального состава и

свойств, которые в динамике постоянно преобразуются под воздействием процессов выветривания, эрозии, гипергенеза, выщелачивания, дренажа водных стоков, что влечет загрязнение экосистемы горнопромышленных регионов [61].

При этом отходы горно-перерабатывающих производств, в том числе с неполностью извлеченными полезными компонентами, являются частью «оплаченных» недропользователем запасов. По этой логике пользователь недр имеет право использовать их в целях, определенных лицензией, повышая тем самым полноту использования ресурсов базового месторождения. В таком случае скопление отходов рассматривается в качестве временного хранения сырья, по каким-либо причинам не соответствующего в настоящее время требованиям потребителя, количество и качество которого зафиксированы в геолого-маркшейдерской и бухгалтерской документации, а также в формах государственного статистического учета.

Важно учитывать, что термин «техногенное месторождение» необходимо использовать в том случае, когда недропользователь понимает возможные направления промышленного использования техногенного сырья: рудного – для вторичного извлечения ценных компонентов, нерудного – для иных целей.

Рассмотрим определения таких понятий как «техногенный объект», «техногенный минеральный объект», «техногенное минеральное образование» и «техногенные россыпи», «техногенные минеральные ресурсы».

**Техногенный объект** – техногенно сформированное сооружение, связанное с технической и технологической деятельностью человека и, как следствие, оказывающее определенное воздействие на окружающую среду, причем не только негативное, но и позитивное (например, при формировании на базе отработанных горных выработок благоприятного техногенного ландшафта, культурно-спортивных сооружений, складов). К техногенным объектам относятся открытые емкости, сформированные на поверхности в результате ведения открытых горных работ (карьеры, разрезы, емкости на отвалах вскрышных пород); шахты с подземными выработками, горные транспортные коммуникации, различного рода хранилища отходов и т. д. На формирование этих объектов затрачены огромные финансовые средства. Так, глубины заброшенного Сибайского карьера и карьера рудника «Мир» составляют 525 м. Но вопросы полезного использования карьер-

ных емкостей такой глубины окончательно еще не решены.

**Техногенные минеральные ресурсы** – это со складированные запасы полезного ископаемого, представленного в составе отходах недропользования и металлургического производств, содержащиеся в различного рода техногенных образованиях (техногенных минеральных объектах).

**Техногенный минеральный объект** – это оконтуренные образования и складированные на топоповерхности или непосредственно в недрах в границах горного отвода, с содержанием техногенных минеральных ресурсов, промышленная ценность которых не определена и требует дополнительного изучения в области геологии и технологических решений.

**Техногенное минеральное образование** – это со складированные на топоповерхности, либо в естественных (природных) или техногенных полостях (горные выработки после ведения открытых и подземных горных работ) в недрах Земли, гидросфере запасов продуктов, созданных в результате деятельности человека в сфере недропользования, целесообразность отработки и экономическая эффективность использования которых должна быть установлена в ходе поисковых, оценочных и разведочных работ и технологических испытаний.

**Техногенные россыпи** – это отвалы, возникшие в период разработки, как правило, россыпных месторождений и содержащие россыпеобразующие металлы.

Председатель Совета Союза старателей России В. И. Таракановский справедливо указал на неоднозначное толкование и разночтение понятий, связанных с техногенными объектами, образованиями и россыпями [124]. Так, в письме Федерального агентства по недропользованию от 29.12.2018 приведено такое определение: «К техногенным (ранее нарушенным добычей) относятся объекты, образованные во время добычи россыпного золота, которые не содержат запасы золота, учитываемые государственным балансом». В действующих уже на протяжении 45 лет Методических указаниях по подсчету запасов золота и олова в россыпях (Магадан, 1979) [85] конкретизируется: «Запасы техногенных месторождений — это запасы в галечных, эфельных, галеэфельных и торфяных отвалах, бортовых и внутриконтурных целиках, в недоработках по плотнику». В Методических рекомендациях по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных

ресурсов твердых полезных ископаемых [84] сказано: «...С определенной долей условности к техногенным россыпям можно отнести остаточные целиковые части месторождения, частично или полностью погребенные под отвалами (хвостами) предшествующих отработок, состоящие из бортовых, внутриконтурных, недоработанных участков первичной россыпи и охранных целиков...». Следует отметить, что еще в 1960-х годах акад. Н. А. Шило предложил следующее понятие: «Техногенные россыпи – это отвалы, возникшие в период разработки месторождения и содержащие россыпеобразующие металлы в количествах, делающих их разработку рентабельной. Их формирование обусловлено неполнотой извлечения полезных металлов при добыче и обогащении, а также дополнительным высвобождением золота из крупнообломочной части отвалов – обломков руд, оруденелых пород, комков существенно глинистых продуктивных отложений – «окатышей», что стимулируется механическими воздействиями в ходе отработки россыпей (перемещения отвалов бульдозерами и т.д.) и современным выветриванием, дающими определенный эффект за период 20–30-летнего существования отвалов» [145].

В отношении отходов недропользования весьма часто употребляется следующее определение: скопление минерального вещества на земной поверхности, не числящиеся на геолого-маркшейдерском и/или государственном статистическом учете в качестве перемещенных из недр балансовых, забалансовых, некондиционных основных и/или попутных полезных ископаемых (отвалы вскрышных и вмещающих пород, хвосты и шламы первичной переработки минерального сырья), т. е. предполагается, что это те отходы, которые впоследствии точно не будут подвергнуты повторной переработке, хотя не понятно, почему надо отвергать эту возможность, исключать технический прогресс и игнорировать изменение интересов развития общества.

В то же время ликвидация горнодобывающих предприятий с запасами балансовых, забалансовых, некондиционных основных и/или попутных полезных ископаемых, представленные в скоплении минерального вещества на земной поверхности и числящимися на геолого-маркшейдерском и/или государственном статистическом учете, не допускается. Такие полезные ископаемые должны быть переработаны, реализованы либо списаны по результатам государственной экс-

пертизы запасов, заключение которой принимается в качестве основания для перевода такого минерального вещества в отходы недропользования. Однако это условие часто не выполняется, так как по причине банкротства предприятие просто не в состоянии выполнять свою основную производственную деятельность и, тем более, по ликвидации отходов [91].

Уместно отметить неточность понятия «в порядке использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр», встречающегося в совместном приказе Минприроды России/Роснедр от 25.04.2023 № 247/04.

Понятийный аппарат в законодательных документах применяет горнотехнические термины с устоявшимися определениями, которые не отражают произошедших функциональных изменений. Как результат – принятие ошибочных решений в технических проектах. Так, в терминологическом словаре [51] вскрышные породы определены как горные породы, покрывающие и вмещающие полезное ископаемое и подлежащие выемке и перемещению в процессе ведения открытых горных работ, а вмещающие породы – как горные породы, в которых заключена рудная залежь, жила или иное геологическое тело с полезным ископаемым. Из этих определений следует, что вскрышные и вмещающие породы – это фактически синонимы. В то же время, ст.23.5 ФЗ «О недрах» однозначно требуют их отдельного хранения если имеет место их использование для добычи полезного ископаемого (кроме ОПИ). В результате можно сделать вывод, что эти термины имеют разные функциональные признаки: вскрышные породы отражают технологический, а вмещающие – геологический аспекты разработки месторождений [63]. Исходя из этого предлагаются следующие определения:

***вскрышные породы*** – породы, окружающие полезное ископаемое, не имеющие промышленного значения для получения минеральной продукции, подлежащие при открытой разработке месторождений извлечению из недр, перемещению в объекты хранения (отвалы) и/или использованию для собственных производственных нужд, включая ведение горных работ;

***вмещающие породы*** – горные породы, окружающие полезное ископаемое, имеющие потенциальное промышленное значение как источник его добычи, под-

лежащие в процессе разработки месторождений извлечению из недр и перемещению в отдельные объекты хранения (специальные отвалы).

При этом заметим, что вмещающие породы, содержащие полезные ископаемые (кроме ОПИ) и/или полезные компоненты в количествах, представляющих промышленный интерес, складировуются отдельно от вскрышных пород, а вмещающие породы, не имеющие потенциального промышленного значения, относятся к вскрышным породам и могут складироваться совместно с ними.

Размещение вскрышных и вмещающих пород (отвалообразование) – завершающий процесс технологического цикла открытых (для вскрышных и вмещающих пород) и подземных (для вмещающих пород) горных работ, предусматривающий складирование пород в объектах размещения (отвалах), определенных техническим проектом разработки месторождения. Например, при подземной разработке месторождений с закладкой выработанного пространства проектом может быть предусмотрено использование вскрышных пород для приготовления закладочного материала.

Вмещающие породы, представленные во вскрыше, могут иметь или не иметь продуктивную ценность, могут содержать токсичные вещества, определяющие класс опасности вскрышных пород. Продуктивная ценность вмещающих пород определяется перспективами их использования, отчасти определяемыми потребностями в продукции горнодобывающего предприятия. Спектр полезного применения попутно добываемых вмещающих пород разнообразен и постоянно расширяется по мере эксплуатации месторождения. А это весьма длительный период и предугадать пути использования вскрышных пород в техническом проекте на весь период эксплуатации месторождения невозможно и непродуктивно. Главное – надо стимулировать недропользователя к многофункциональному использованию вскрышных пород, в ряде случаев проводя их заблаговременную подготовку к эксплуатации, что требует соответствующих финансовых вложений [71].

Целевое использование вскрышных пород должно быть предусмотрено исключительно для собственных производственных нужд горного предприятия, включая ведение горных работ, в результате которого происходит их утилизация как отходов производства.

Неоднозначное толкование терминов в части обращения с отходами недропользования имеет место в законах «О недрах» и «Об отходах производства и потребления». В Законе РФ «О недрах» под отходами производства и потребления подразумеваются отходы горнодобывающего комплекса и связанных с ним перерабатывающих производств, а в ФЗ «Об отходах производства и потребления» – вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с настоящим Федеральным законом. Кроме того, отсутствие в законодательной базе терминов «техногенное образование» и «техногенный объект» не позволяет использовать их при совершенствовании нормативно-правовой базы в части обращения с отходами горнодобывающего комплекса.

Некоторые положительные сдвиги в обновлении понятийного аппарата в сфере отходов недропользования уже произошли. В новой редакции от 04.08.2023 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» уточняется, что понятие «отходы недропользования» используется в значении, указанном в части второй преамбулы измененного Закона РФ «О недрах» (в ред. от 12.12.2023), а именно: к отходам недропользования относятся вскрышные и вмещающие горные породы, шламы, хвосты обогащения полезных ископаемых и иные отходы геологического изучения, разведки, добычи и первичной переработки минерального сырья, содержащие и не содержащие полезные ископаемые и полезные компоненты при условии использования их в соответствии с целями, предусмотренными статьями 23.4 и 23.5 настоящего закона.

С 1 марта 2024 г. введены понятия: «техногенное месторождение» – отходы недропользования, образованные в результате пользования недрами иными лицами; «запасы техногенного месторождения» – запасы полезных ископаемых, поставленные на государственный баланс по результатам осуществления пользователем недр геологического изучения недр на участке недр, содержащем техногенное месторождение; а также уточнены требования, которым должен соответствовать участок недр, содержащий техногенное месторождение (постановление Правительства РФ от 09.10.2023 № 1651).

Проблема различного трактования одних и тех же понятий, либо утвержденных, либо отсутствующих в законодательстве понятий, однозначно должна быть решена за счет приведения к единой терминологии, гармонизации с международной практикой обращения с отходами, которая будет задействована при издании различных нормативно-правовых и законодательных документов [110].

Другой острой проблемой, требующей решения, является отсутствие единого реестра техногенных образований, который должен быть сформирован на базе классификации техногенных георесурсов, образований и минерального сырья. В этом реестре необходим учет не только формы и размеров образований, но и условий складирования техногенных отходов. Должно быть проведено деление техногенных георесурсов по возможным направлениям их использования, а также по условиям хранения, содержания и принадлежности, что в настоящее время крайне необходимо ввиду принятых законов и актов в части управления отходами горнопромышленного комплекса. Учет этих отходов в воспроизводстве МСБ – важное направление повышения уровня сбалансированности недропользования. На сегодняшний день отходы недропользования числятся в локальных системах, которые преследуют свои интересы, и не иницируют процесс создания единой государственной системы по обращению отходов с рассмотрением их в области повторного использования.

Вопрос учета техногенных минеральных образований много раз поднимался в научных работах и в обсуждениях на различных уровнях. Но даже в отношении признанного бесспорным учета техногенных минеральных образований в ЕГРН в качестве земельного участка высказано мнение, что это не позволит отразить все важные сведения о техногенных минеральных образованиях, в полной мере определяющие характеристики этих объектов [34].

Государственные реестры объектов размещения отходов (ГРОРО) и объектов негативного воздействия на окружающую среду (ГРОНВОС), региональные реестры объектов размещения отходов, государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых не содержат полную актуальную информацию по объектам, представленным отходами недропользования (прежде всего, ликвидированных предприятий), не выделяют отходы недропользования в обособленную



категорию и не отвечают требованиям участников проектов по вовлечению таких отходов в промышленное освоение, поскольку создавались для других целей [129].

Единый государственный кадастр отходов недропользования, содержащий структурированную информацию о точном местоположении, правовом статусе отходов, степени их негативного воздействия на окружающую среду, объемах и качественном составе минерального сырья, запасах полезных ископаемых, технологиях переработки техногенного сырья, возможных направлениях использования получаемой продукции и т. п. до настоящего времени не создан. Множественность показателей, характеризующих техногенные объекты, предопределяет сложность их классификации и типизации.

В данный момент отсутствует единая цифровая платформа или источник, консолидирующий все параметры накопленных и складированных в настоящее время техногенных образований, состоящих, как правило, из отходов недропользования. Все текущие источники не соответствуют критериям регулирующим достаточный объем информации, достоверность и актуальность и не решают следующие задачи [106]: точной информации по количеству и качеству полезного ископаемого в отходах недропользования; перспективности прироста запасов за счет отходов недропользования, в том числе с целью последующего выделения лицензионных участков; переоценки отходов недропользования как источник пополнения сырьевой базы государственного баланса запасов, с учетом применения наилучших доступных технологий; обоснования стимула для вовлечения техногенных образований в эксплуатацию; определения параметров оценки и подсчета запасов для постановки на баланс, их последующего списания в процессе эксплуатации, обоснования норматива потерь и разубоживания техногенных образований при их освоении. Создание единого реестра (кадастра) позволит систематизировать знания обо всех техногенных образованиях, будет способствовать оптимизации процесса управления техногенными георесурсами при возникновении в ходе освоения базовых месторождений необходимости в дополнительном минеральном сырье либо в иных направлениях его использования за счет четкого понимания особенностей формирования, строения, состава и свойств техногенных георесурсов.

Создание подобного массива информации должно базироваться на класси-

фикации техногенных георесурсов, образований и минерального сырья. С учетом этого предложена классификация техногенных минеральных ресурсов и образований (рис. 2.1) на основе ряд классификационных признаков.

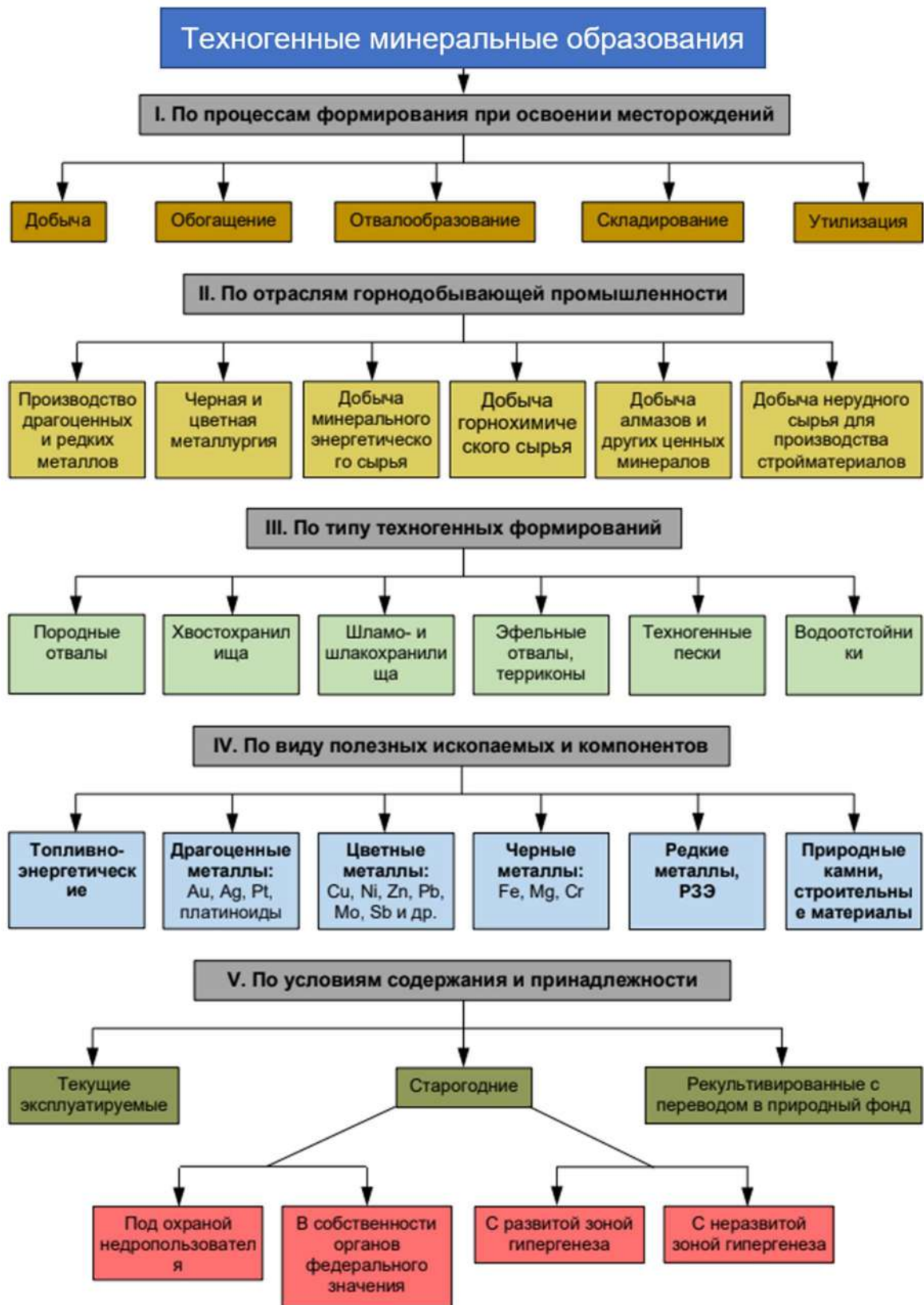


Рисунок 2. 1. Классификация техногенных георесурсов и образований

Предложенный подход позволяет отнести техногенные минеральные образования к типу сырья, пригодного для последующего извлечения из него полезных компонентов, либо пригодного для иного промышленного использования, и имеет практическую направленность, влияющую на выбор способов переработки и период вовлечения техногенных минеральных образований в эксплуатацию. Кроме того, систематизация знаний о техногенных минеральных образованиях с учетом предложенных классификационных признаков должна быть направлена на совершенствование нормативно-правовой базы управления отходами горной промышленности и, как следствие, на повышение полноты освоения недр Земли.

Таким образом, проблема обращения с отходами горнопромышленного комплекса приобрела значение ключевого фактора как для систематизации сформированных и вновь формируемых техногенных образований, оценки возможности разработки существующих техногенных образований с задачами доизвлечения содержащихся в них ценных компонентов, что способствует сбережению и воспроизводству природного минерального сырья, так и для гарантирования охраны недр, окружающей среды и экологической безопасности горнопромышленных регионов.

Систематизация, учет и оценка потенциала промышленного использования техногенных минеральных ресурсов должны подкрепляться правовыми основами государственного регулирования недропользования, способствующими использованию обобщенных данных для эффективного вовлечения отходов недропользования в качестве дополнительного источника пополнения минерально-сырьевой базы страны, что обуславливает важность совершенствования системы управления отходами недропользования в России.

## **2.2. Необходимость и направления совершенствования правовых основ в сфере управления отходами недропользования в России**

Сформированные техногенные образования занимают особое место в системе недропользования, так как частично обеспечивают сохранность рудных и сопутствующих им ценных компонентов при непродолжительном сроке хране-

ния, а эффективная разработка техногенных образований с обоснованием рационального использования техногенного сырья позволяет повысить комплексность освоения недр. Основными критериями, определяющими необходимость эффективного использования сырьевой базы техногенных образований, являются:

- большой объем накоплений техногенных минеральных ресурсов, сформированных за многолетний период деятельности горнодобывающей промышленности;

- относительно высокое содержание ценных компонентов, близкое к вовлекаемым в разработку и разведанным с постановкой на баланс целиковых месторождений, ранее не затронутых горными работами;

- постоянно растущий объем накопленных отходов, оказывающих отрицательное влияние на экологическую обстановку регионов, в которых располагаются и мира в целом;

- стабильный и прогрессирующий процесс потери первоначального качества техногенного сырья в местах складирования;

- актуальности экологической повестки как на государственном, так и мировом уровне в совокупности с увеличением количества требований законодательства по улучшению условий проживания человека;

- рост требований и их однозначное прочтение в механизмах регулирующих органов по обращению с отходами, на фоне отсутствия стимулирования недропользователей.

Не менее сложной и нерешаемой в техническом проекте является задача определения условий и сроков использования вскрышных пород для обеспечения обозначенных в техническом проекте целей. Проектировщики не имеют полных и достоверных сведений о составе и свойствах вскрышных пород, о потребностях в них не только для реализации сторонним потребителям, но и для собственных производственных нужд.

Однако, основные сложности в части обращения с отходами недропользования связаны с несовершенством нормативно-правового аппарата. Особо следует отметить пункты по передаче прав собственности и лицензирования при вовлече-

нии в разработку техногенных объектов, разночтение в законах влечет увеличение сроков рассмотрения проектов, направленных на разработку техногенных образований с целью утилизации или промышленного использования.

Недропользователи сталкиваются с такими проблемами, как отсутствие гармонизации законов, регламентирующих вопросы вовлечения отходов недропользования в эксплуатацию и их утилизацию. Кроме того, многоэтапная процедура оформления прав на управление отходами в части их вторичного использования или утилизации требует значительного времени и ресурсов, что в результате несопоставимо с возможным эффектом от реализации проектов на освоение месторождений твердых полезных ископаемых.

В настоящее время деятельность по переработке техногенных отходов попадает под действие двух отраслевых норм – горного и экологического права и регулируется одновременно двумя законами (Законом РФ «О недрах» [59] и Федеральным законом «Об отходах производства и потребления» [131]). Сравнение этих нормативно-правовых актов приведено в таблице 2.1. Анализ материалов таблицы 2.1. свидетельствует, что закон РФ «О недрах» относит использование отходов добычи полезных ископаемых и связанных с ней перерабатывающих производств к виду пользования недрами, требует оформления прав пользования недрами и получения лицензии на добычу и переработку техногенного сырья с уплатой НДС.

Закон РФ «О недрах» по сути приравнивает отходы добычи и переработки полезных ископаемых к природным месторождениям. В результате при проектировании освоения техногенных образований требуется предварительная постановка их запасов на баланс и государственный учет с нормами, разработанными для природных месторождений, что определяет высокие затраты и сроки вовлечения в эксплуатацию техногенных объектов и сдерживает их инвестиционную привлекательность.

В отношении отходов горнопромышленного комплекса законодательство о недрах вступает в противоречие с Гражданским кодексом РФ, который признает отходы движимым имуществом и наделяет правами собственности на них того, кто их образовал. Это требует нормативно-правового урегулирования этого противоречия.

Таблица 2.1. Сравнение положений нормативно-правовых актов, регулирующих обращение отходов, добычи и переработки минерального сырья [91, 131]

Форма и признак сравнения	Законодательство	
	горное	экологическое
	Отрасль права	
	административное	гражданское
Основной документ	закон РФ «О недрах»	ФЗ «Об отходах производства и потребления»
Понятие	отходы горнодобывающего комплекса и связанных с ним перерабатывающих производств	отходы производства и потребления
Признаки классификации	не определено	класс опасности, вид и объемы, состояние, тип
Сфера применения норм	пользование недрами	обращение с отходами
Право собственности на отходы	строго закреплено	закреплено за хозяйствующим субъектом
Возникновение прав собственности	– в процессе недропользования; – в результате приобретения лицензии на право отработки	– не приобретается; – возникает в процессе хозяйственной деятельности
Передача прав собственности другому лицу	не передается	на основе гражданских сделок
Условия приобретения прав собственности другим лицом	через процедуру лицензирования	на основе гражданских сделок
Условия отчуждения (изъятия)	истечение срока действия лицензии, либо ликвидация деятельности	решение суда
Права собственности на брошенные отходы	принадлежит государству	принадлежит владельцу земельного участка

При этом, федеральным законом №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» установлено, что право собственности на отходы определяется в соответствии с гражданским законодательством.

Неоднозначное правовое регулирование обращения и управления отходами недропользования фактически препятствует реализации экологической политики государства, предусматривающей безопасное обращение с отходами недропользования путем их утилизации при вовлечении в повторный хозяйственный оборот, что часто усложняет обращение и управление отходами, делает горные проекты экономически невыгодными и предполагает необходимость устранения правовых коллизий на законодательном уровне.

С целью расширения минерально-сырьевой базы страны и снижения экологической нагрузки на горнопромышленные регионы за счет вовлечения в эксплуатацию отходов недропользования Правительству Российской Федерации совместно с палатами Федерального Собрания Российской Федерации было поручено внести в законодательство изменения, в том числе, «установление порядка добычи полезных компонентов и ископаемых из отходов недропользования, а также связанных с ним производств, вовлечение в хозяйственный оборот вскрышных и вмещающих горных пород, золошлаков для целей ликвидации горных выработок» [95] В соответствии с данным поручением совместными приказами Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Федерального агентства по недропользованию утверждены Порядок добычи полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, в том числе из вскрышных и вмещающих горных пород (приказ от 25.04.2023 № 246/03), а также Порядок использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр (приказ от 25 апреля 2023 года № 247/04).

Цель разработки перечисленных документов – создание механизма снижения техногенной нагрузки на окружающую среду от размещения вскрышных и вмещающих пород в объектах их хранения (отвалах) на земной поверхности, стимулирующего недропользователя к комплексному использованию всех извлеченных из недр георесурсов.

Порядком для достижения поставленной цели определен перечень задач, которые должны быть решены в техническом проекте разработки месторождения:

- цель использования вскрышных и вмещающих горных пород;
- состав, в том числе минеральный состав, объемы образуемых и используемых вскрышных и вмещающих горных пород;
- источник и дата (период) образования вскрышных и вмещающих горных пород;
- допустимые отклонения объемов образуемых и (или) используемых вскрышных и вмещающих горных пород;
- условия и сроки использования вскрышных и вмещающих горных пород

в указанных в проекте целях;

– требования к раздельному хранению вскрышных и вмещающих горных пород, подлежащих использованию в целях добычи полезных ископаемых и полезных компонентов, и вскрышных и вмещающих горных пород, подлежащих использованию в указанных целях;

– требования к объектам хранения вскрышных и вмещающих горных пород (специально оборудованным сооружениям и местам, предназначенным для хранения вскрышных и вмещающих горных пород, подлежащих использованию);

– условия соблюдения требований по рациональному использованию и охране недр при использовании вскрышных и вмещающих горных пород.

Предполагается, что при решении перечисленных задач в техническом проекте объемы и сроки использования вскрышных пород будут обоснованы, что должно быть подтверждено положительной Позитивной Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (далее РПН). Такое внимание к этому вопросу объясняется его прямой зависимостью с размером платежей за негативное воздействие складированных пород на окружающую среду, от которых недропользователя предполагается освободить.

Следует отметить, что даже краткий обзор перечня задач, которые необходимо решить в техническом проекте на разработку месторождения на стадии проектирования в условиях весьма высокой изменчивости исходной информации о горно-геологических и горно-технических условиях освоения месторождения [31, 116] в сочетании с изменчивостью конъюнктуры минерального сырья указывает на объективную невозможность их реализации на стадии проектной подготовки. При этом весьма часто потребность во вскрышных породах связана с инфраструктурными объектами горно-перерабатывающего комплекса, ликвидацией горных производств и рекультивацией нарушенных земель в проектах строительства, которые при подготовке технических проектов отсутствуют.

Выполнение утвержденных Порядком требований к раздельному хранению вскрышных и вмещающих пород, подлежащих к использованию в целях добычи полезных ископаемых, должно быть определено уже на стадии подготовки ТЭО



кондиций полезных ископаемых, а условия такого хранения (например, содержание основного полезного компонента на 25 % выше его содержания в «хвостах» первичной переработки) – закреплены в Заключении государственной экспертизы запасов. При отсутствии таких условий породы могут быть использованы в иных целях согласно техническому проекту.

При выполнении требований Порядка существенную роль играет неопределенность формулировок, что порождает неоднозначность в оценке подготовленных проектных решений проектировщиками и специалистами Росприроднадзора. Такими «огрехами» страдают пункты 2, 4, 6, 7 и 8 Порядка, при оценке выполнения которых всегда можно привести доводы, показывающие невыполнение таких «требований».

Анализ результаты рассмотрения технических проектов разработки месторождений ЦКР-ТПИ Роснедр после введения в действие перечисленных нормативно-правовых документов показал, что в период с 01.09.2023 до 01.04.2024 выполнены значительные объемы работ по рассмотрению проектных решений:

- ЦКР-ТПИ Роснедр рассмотрены 296 технических проектов, из которых 283 (95,6 %) были направлены недропользователям для доработки, согласно Уведомлениям, содержащим замечания членов Комиссии;

- в I-ом квартале 2024 года Комиссией рассмотрены 124 технических проекта, из которых 56 проектов (практически все с открытым способом добычи) имели отрицательную оценку Росприроднадзора, в связи с невыполнением требования Порядка использования вскрышных и вмещающих пород.

Невыполнение требований по использованию вскрышных и вмещающих пород носит системный характер, связанный с неопределенностью (по нашему мнению) их формулировок и неоднозначностью практического исполнения положений Порядка в проектной документации. Свой вклад вносит также недостаточно высокий уровень профессиональной подготовки проектировщиков, которые своевременно не подготовились к новому порядку оформления использования вскрышных и вмещающих пород в технических проектах. В результате появилась необходимость в подготовке рекомендаций по выполнению обязательных требований приня-

тых нормативных документов по использованию вскрышных пород. Начать следует с определения базовых терминов, которые лежат в основе законодательных актов.

С 01.09.2023 Федеральным законом от 14.07.2022 № 343-ФЗ внесены существенные изменения в законы «О недрах», «Об отходах производства и потребления», «Об экологической экспертизе» и «Об охране окружающей среды». Внесенные изменения по-новому определяют правовой статус отходов недропользования.

Впервые в отечественной практике и весьма своевременно требуется на законодательном уровне закрепить меры по стимулированию организации производства продукции горнодобывающей отрасли, исключающие образование отходов и предполагающие использование промежуточных продуктов в полном цикле комплексного освоения месторождений со стимулированием горнодобывающих предприятий к добыче и переработке техногенных отходов [9].

Поэтому необходимо качественное совершенствование нормативно-правовой базы обращения с отходами недропользователя в части вторичного использования техногенного сырья для комплексного извлечения ценных компонентов, либо в иных целях, например, для дорожного строительства или закладки выработанного пространства с обязательной последующей утилизацией отходов в проектах комплексного освоения рудных месторождений.

Для этого необходимо создание эффективных государственных механизмов, обеспечивающих инвестиционную привлекательность проведения поисковых и оценочных работ, а также завершения цикла научных исследований и опытно-конструкторских работ по созданию инновационных отечественных технологий и оборудования [6, 59]. Для рассмотрения техногенных образований, как составной части минерально-сырьевой базы России, необходим государственный механизм учета формирования и обращения минерально-сырьевых отходов, стимулирования разведки и разработки ранее сформированных техногенных образований, совершенствование технологий их комплексного освоения, а также разработки мер, направленных на недопущение дальнейшего формирования и накопления отходов недропользования.

Требуется совершенствование законодательных актов и нормативов в части:

- порядка и сроков получения лицензий на право пользования техногенными образованиями с учетом обеспечения равных условий для крупных горнодобывающих холдингов и малых горнодобывающих предприятий;
- закрепления мер для производств горнодобывающей отрасли по использованию техногенных отходов в полном цикле основного или вспомогательного производств с целью обеспечения полноты, рациональности и комплексности пользования недр;
- определения порядка и условий для геолого-технологического доизучения и вовлечения в промышленное использование ранее накопленных отходов горно-обогатительного и металлургического производств. При этом необходимо не только обосновать условия, но и жестко контролировать соблюдение технологических и экологических норм и требований к рекультивации нарушенных территорий.

Для решения поставленных задач Роснедра совместно с ИПКОН РАН и с участием ведущих горнодобывающих компаний, научных, проектных и учебных организаций разрабатывает проект «Совершенствование правовых основ обращения и управления отходами недропользования в России» (далее – Проект). Дорожной картой Проекта предусмотрено проведение ряда организационных мероприятий (совещаний), разработка предложений по гармонизации законодательства о недрах и экологического законодательства в части регулирования обращения отходов недропользования, совершенствованию гражданского и налогового законодательства, формированию кейсов по технико-технологическим решениям, структуризации отходов по направлениям использования.

Совершенствование правовых основ в сфере управления отходами недропользования в России позволит упростить недропользователям процесс лицензирования, геолого-технологического изучения и тем самым будет способствовать повышению интереса к проблеме обращения с отходами, что в результате должно обеспечить повышение уровня разработки технологических решений по промышленному использованию многофункционального техногенного рудного сырья.

### **2.3. Особенности и специфика технологических решений по многофункциональному использованию техногенных георесурсов**

Практика промышленного использования отходов недропользования свидетельствует о наличии различных направлений использования техногенных георесурсов с учетом его качественных характеристик и свойств.

В качестве основных направлений перспективного использования техногенного сырья следует отметить:

- возможность доизвлечения ценных компонентов для расширения минерально-сырьевой базы действующих предприятий и промышленности в целом;
- перспективу использования в составе закладочных материалов при закладке выработанного пространства;
- обеспечение безопасного захоронения опасных веществ;
- использование отходов при рекультивации техногенно нарушенных земель и формировании благоприятного ландшафта;
- изготовление чернил для печати на 3D принтеров;
- захоронение радиоактивных отходов и иных загрязняющих веществ окружающей среды;
- использование в иных целях в соответствии с изменяющимися общественными потребностями (строительстве дорог и т. д.).

Вмещающие породы, представленные во вскрыше, могут иметь или не иметь продуктивную ценность, могут содержать токсичные вещества, определяющие класс опасности вскрышных пород. Продуктивная ценность вмещающих пород определяется перспективами их использования, отчасти определяемыми потребностями в продукции горнодобывающего предприятия. Это может быть автодорожное строительство, строительство железных дорог, рекультивация техногенно нарушенных территорий и создание благоприятного техногенного ландшафта, промышленное строительство, формирование горнотехнических сооружений различного назначения, например для воспроизводства ветровой или солнечной электроэнергии, хранения или захоронения вредных отходов. Спектр полезного применения попутно добываемых вмещающих пород весьма высок, и он по-

стоянно расширяется по мере эксплуатации месторождения. А это весьма длительный период и предугадать пути использования вскрышных пород в техническом проекте на весь период эксплуатации месторождения невозможно и непродуктивно. Главное, что надо стимулировать недропользователя к многофункциональному использованию вскрышных пород, в ряде случаев проводя их заблаговременную подготовку к эксплуатации, что требует соответствующих финансовых вложений [59].

Целевое использование вскрышных пород должно быть предусмотрено исключительно для собственных производственных нужд горного предприятия, включая ведение горных работ, в результате которого происходит их утилизация как отходов производства.

Следует отметить, что логически правильно законодательно ориентировать на стимулирование пользователей недр к утилизации вскрышных пород через возможное использование пород вскрыши в иных, в частности, строительных, природоохранных и т. п. целях.

При использовании вскрышных пород для собственных производственных нужд проектировщик уже в начале работы над проектом должен иметь представление о том, зачем, где и когда вскрышные породы будут востребованы. Выбрав одну из трех возможных технологических схем:

1. «Выемочно-погрузочные работы в забое – перевозка технологическим транспортом в пункт временного хранения – отгрузка в средства транспорта – доставка на место использования – утилизация в результате использования по назначению».
2. «Выемочно-погрузочные работы в забое – перевозка технологическим транспортом на место использования – утилизация в результате использования по назначению».
3. «Отгрузка из отвалов пород с внесенной платой за хранение – перевозка на место использования – утилизация в результате использования по назначению».

На действующем предприятии вскрышные породы используются, как правило, по схеме 2, в которой отсутствует их временное хранение, вскрышные породы сразу после извлечения из недр утилизируются. Соответственно у недро-

пользователя не возникает необходимости внесения компенсирующей платы и нет необходимости от нее освободить. Пользователь недр уменьшает свои финансовые издержки по факту.

Следует отметить, что этот вариант является наиболее жестким в планировании и исполнении, так как предполагает наличие тесно связанной логистической цепочки «Забой – место использования», что не позволяет резервировать объемы, а текущие нужды горных работ во вскрышных работах весьма чувствительны в их перерывах.

По схеме 3 вскрышные породы могут использоваться как на действующем предприятии, так и после прекращения горных работ при ликвидации горных выработок и рекультивации нарушенных земель.

Использование вскрышных пород по схеме 1, охватывающей все обязательные требования, определенные Порядком, чтобы избежать смешения разных приемов в использовании вскрышных и вмещающих (для извлечения полезных ископаемых) пород в примере рассмотрим вариант использования только вскрышных пород.

При определении целевого назначения пород в техническом проекте должны быть определены требования, которым должны соответствовать вскрышные породы по минеральному и химическому составу, физико-механическим характеристикам и иным свойствам, влияющим на область использования пород вскрыши. Важно правильно определить ожидаемый состав, в том числе минеральный состав вскрышных пород, которые еще не вскрыты горными выработками на момент разработки технического проекта, объемы образуемых и используемых вскрышных горных пород.

Минеральный состав пород вскрыши, предусматриваемых к использованию, приводится в разделе «Геологическое строение шахтного (карьерного) поля» технического проекта, а в его других местах – при необходимости делается ссылка на этот раздел.

Если в техническом проекте выделены вскрышные и вмещающие, рыхлые и скальные, мягкие и крепкие и т. п. породы, то должны быть приведены критерии для их разделения.

Привести в техническом проекте в укрупненном календарном плане все сроки и объемы извлечения из недр вскрышных пород с разделением их по видам и свойствам и обеспечением отдельного хранения практически невозможно. А если этого нет в проекте, все усилия недропользователя по утилизации пород вскрыши можно считать напрасными.

Так что разработанный и утвержденный Порядок не только не способствует уменьшения накопления отходов, а ведет к их росту и расширению судебных дел по иску к недропользователям, которые поверили в возможность сокращения налогового бремени и развили промышленную деятельность по утилизации пород вскрыши.

Анализ использования вскрышных пород показывает, что в разных условиях для выполнения конкретизированных требований могут быть применены типовые решения (табл. 2.2), но реализация их является весьма сложной и проблематичной.

Применение 2-й и 3-ей технологических схем использования вскрышных пород приводит к тому, что пункты 4, 6 и 7 «Порядка...» теряют практическое значение, поэтому в технических проектах их, по-видимому, рассматривать не следует.

Таблица 2.2. Пример конкретизирующих требований при использовании вскрышных пород.

<b>Конкретизирующее требование при использовании вскрышных пород</b>	<b>Источник информации</b>	<b>Проектное решение</b>
Соответствие состава и физико-механических характеристик пород их использованию по целевому назначению.	Технический проект разработки месторождения Иная проектная документация.	Результаты сопоставления требований к породам согласно целевому назначению с характеристиками пород, предназначенных для использования.
Раздельное или совместное складирование вскрышных и вмещающих пород.		Проектное решение по раздельному или валовому складированию пород.
Доставка используемых пород с применением или без применения промежуточного объекта размещения отходов.		Решение о применении или отказа от применения площадок промежуточного хранения пород при их доставке на место использования
Срок нахождения пород в местах размещения отходов перед использованием		Принимается решение о: сроке хранения пород - (менее или более 11 месяцев).
Сроки использования отходов недропользования		Определяются календарным планом использования пород по целевому назначению.

При затруднениях с выполнением отдельных обязательных требований следует обратиться в орган исполнительной власти, предъявивший такие требования (сославшись на пункт 5 статьи 14 Закона РФ от 31.07.2020 № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации»), с просьбой предоставить руководство по его выполнению.

Стоит отметить, что направления промышленного использования отходов недропользования должны быть обоснованы, в первую очередь, с учетом классификации техногенных георесурсов, предложенной в п.2.1. настоящей диссертации.

Выполненный анализ показал, что Государственным балансом учтена лишь небольшая часть различных полезных ископаемых в отходах недропользования, признанных промышленно значимыми. Преобладают золотосодержащие техногенные объекты – свыше 100, а также оловосодержащие – 18, железосодержащие – 17, мусковитовых – 10, медных – 7, вольфрамовых – 6. Вместе с тем известно, что ресурсный потенциал отходов недропользования значителен – свыше 1 тыс. т золота, 0,5 млн т олова, 8 млн т меди, 9 млн т цинка, огромное количество железа и других металлов [60].

В России в период до 2035 г. по утвержденным проектам планируется освоить отходы недропользования в масштабах: 55 т золота, 61 т серебра, 119 т платиноидов, 98 тыс. т меди, 9,3 т олова, 15,4 т  $WO_3$ , 349 тыс. т цинка, 100 т  $ZrO_2$ , 4 млн т железных руд, 0,3 млн т  $P_2O_5$ , 11,4 млн т цементного сырья, 47 млн куб. м строительного камня, 377 тыс. т флогопита, 1895 тыс. т полевошпатового сырья.

Как правило, речь идет о переработке россыпных месторождений, либо сырья, относящегося к легкообогатимому. Вместе с тем, практически все накопленные отходы горнопромышленного и металлургического производств несут в себе значительную ресурсную ценность. Так, среднее содержание ценных компонентов в ранее сформированных хранилищах отходов переработки руд (хвостохранилищах) в ряде случаев выше их промышленного содержания в рудах, вовлекаемых в настоящее время в освоение месторождений. Например, на Южном Урале в старогодних хвостохранилищах среднее содержание золота в техногенном сырье составляет 0,5–0,8 г/т, тогда как в регионе добывают руды с приведенным содер-



жанием благородного металла 0,35 г/т и ниже [59]. Наряду с указанными «базовыми» ценными компонентами, техногенные отходы содержат комплекс попутных элементов, в том числе, платину, селен, теллур, германий, весь спектр редких и рассеянных элементов.

Разработка техногенных объектов и переработка техногенного минерального сырья сопряжены с рядом технических и технологических трудностей. Техногенные образования в ходе многолетнего хранения претерпевают значительные изменения – в толще таких объектов крайне неравномерно распределены обогащенные ценными компонентами или токсичными элементами участки, присутствует сочетание различных минеральных форм, накоплены скрытые обводненные зоны, имеются сброшенные металлические детали, бетонные конструкции, автопокрышки и иные предметы, поверхность техногенных объектов зачастую задернена кустарниками и деревьями, отсутствует необходимая для освоения запасов транспортная и энергетическая инфраструктура [131]. Поэтому по техногенным образованиям, которые формировались на протяжении десятилетий и даже сотен лет, подвергались неоднократным повторным отработкам с многократными перемещениями горной массы, вопросы оценки и подсчёта запасов представляют весьма сложную задачу.

Это определяет необходимость своевременного изучения техногенных образований, создания безотходных (или малоотходных) способов извлечения и переработки отходов недропользования, предусматривающих:

- разработку принципиально новых технологических схем и методов, исключающих выбросы металлов, тяжелых и токсичных элементов в окружающую среду;

- создание замкнутых технологических схем с многократным использованием, рециклингом и утилизацией техногенного сырья, технологических вод и газов;

- создание инновационной системы переработки отходов недропользования, которые рассматриваются как вторичные материальные

ресурсы с организацией крупных региональных территориально-промышленных комплексов с замкнутой структурой потоков сырья для глубокой переработки.

Помимо вторичного доизвлечения ценных компонентов, из техногенного сырья активно набирает обороты направление использования техногенных георесурсов для заполнения ранее отработанных карьеров и горных выработок подземных рудников.

Только на территории Свердловской области имеется более 200 карьеров, в которых горные работы уже не ведутся длительный период, причем, ввиду бесхозности, эти выемки остались нерекультивированными. Таким образом, складирование текущих отходов действующих предприятий в отработанные ранее карьеры и подземные выработки позволяет решить сразу две проблемы: складирование отходов горно-металлургического передела без изъятия дополнительных площадей при снижении техногенной нагрузки на окружающую среду и рекультивацию карьерных выемок. Целесообразность использования горных выработок для складирования отходов подтверждается следующим:

- исключается необходимость в изъятии из хозяйственного оборота новых земельных участков под строительство различного рода хранилищ;
- поскольку отходы размещаются в карьерных выемках или в подземных выработках, пылеобразование при их складировании минимизируется, поэтому не происходит дополнительного загрязнения территорий;
- заполнение горных выработок отходами, обеспечивая управление состоянием горных массивов, не только ликвидирует угрозу развития деформационных процессов, но и обеспечивает технический этап рекультивации нарушенных земель, что снижает до минимума затраты на их возвращение в хозяйственный оборот.

Таким образом, одним из реальных направлений снижения накопления объемов отходов обогащения и металлургии является их использование в составе для твердеющих смесей и для рекультивации техногенных образований. Однако, такое использование должно осуществляться лишь после подтверждения текущей или возможной ценности техногенных отходов горной промышленности.

Целенаправленное формирование карьерных выемок с учетом возможности

последующего использования их выработанного пространства для размещения не только текущих отходов различных отраслей промышленности, но продуктов их переработки, требует на этапе проектирования горнотехнической системы разработки и обоснования технологических решений, направленных на максимальную реализацию потенциала данного техногенного георесурса. При этом выработанное пространство карьера является лишь одним из перспективных направлений комплексного освоения недр на основе управления отходами недропользования. Породы вскрыши, дифференцированные на этапе геологоразведки с учетом физико-механических свойств, являются ценным материалом для формирования горнотехнических сооружений с заданными потребительскими свойствами.

В связи с этим следует выделить следующие основополагающие направления принятия технологических решений по управлению отходами недропользования с учетом целенаправленного преобразования массива горных пород и техногенных образований:

1. Проектирование конструкции и обоснование параметров выработанного пространства карьера с учетом схемы вскрытия, обеспечивающие многоцелевое его использование в качестве техногенного георесурса:

- размещение отходов недропользования и продуктов переработки отходов производства;
- формирование транспортной инфраструктуры для вовлечения в хозяйственный оборот отдельных участков выработанного пространства карьера, в том числе для повышения полноты освоения запасов месторождения;
- подготовка и создание в заданных областях карьера отдельных участков для формирования и эксплуатации локальных техногенных емкостей, в том числе для кучного выщелачивания;
- монтаж на борту карьер различных контракций и установок не предназначенных непосредственно для добычи полезных ископаемых, в том числе, обеспечивающих преобразования природных и техногенных возобновляемых источников энергии.

2. Проектирование конструкции и обоснование параметров отвалов,

способствующие повышению полноты комплексного освоения рудных месторождений за счет:

- селективного складирования дифференцированных по физико-механическим характеристикам горных пород, использование которые обеспечивает формирование непосредственно в процессе отвалообразования техногенных емкостей с заданными потребительскими свойствами;
- заблаговременной подготовке площадок для селективного складирования дифференцированных по содержанию полезных компонентов, вредных примесей и физико-техническим характеристикам горных пород с целью формирования техногенных образований с требуемыми технологическими характеристиками, обеспечивающими эффективность их последующего освоения;
- формирования конструкции откосов отвала и его формы в плане, обеспечивающих эффективное использование природной и возобновляемой техногенной энергии.

В связи с многовариантностью перспективных направлений многофункционального использования отдельных видов техногенных георесурсов на этапе проектирования необходимо определить технологические решения, обеспечивающие повышение полноты и комплексности освоения техногенных образований. В зависимости от фактического состояния горных работ их стадии и направления развития необходимо обосновывать или изменять не только параметры схемы вскрытия и системы разработки, но и обеспечить взаимоувязку работ по добыче и переработке вовлекаемых в освоение техногенных георесурсов. Таким образом, техногенные образования содержат самостоятельный минеральный ресурс, роль которого нельзя игнорировать.

#### **2.4. Обоснование необходимости принятия комплексных технологических решений в проектах освоения рудных месторождений**

Техногенное минеральное сырье в результате длительного хранения под воздействием воздуха, атмосферных осадков и колебаний температуры претерпевает существенные изменения качества и вещественного состава с неустановлен-

ными закономерностями его распределения по глубине и площади техногенных образований. Это зачастую требует дифференцированных подходов к переработке техногенного сырья, извлеченного из различных участков недр [3, 70]. Более того, каждый техногенный объект является уникальным и требует колоссальных затрат на изыскание и обоснование технологий безопасной разработки техногенного сырья и его переработки. В этой связи, понимание особенностей формирования техногенных георесурсов и возможных направлений их промышленного использования может быть учтено на начальных стадиях освоения месторождения, начиная с этапа проектирования.

Определено условие использования отходов недропользования для добычи полезных ископаемых и извлечения ценных компонентов, а именно: добыча должна осуществляться в соответствии с утвержденными техническими проектами разработки месторождений полезных ископаемых (ст. 23.2 Закона РФ «О недрах»).

Условием использования пород вскрыши для добычи полезных ископаемых и полезных компонентов определено изменение границ участка недр путем включения земельного участка с размещенными на нем вскрышными породами, если такой земельный участок находится за границами участка недр [3, 91].

Требованием к проектам, предусматривающим использование отходов недропользования для ликвидации горных выработок и иных сооружений, связанных с использованием недр, а также к проектам рекультивации земель, является наличие положительного заключения государственной экологической экспертизы.

В то же время, право недропользователя на исключение из государственного реестра объектов размещения отходов (ГРОРО) отвалов вскрыши при наличии проекта, предусматривающего использование всего объема размещенной в отвале вскрышной породы для целей, определенных в ст. 23.5 Закона РФ «О недрах», существенно ограничивает возможности использования накопленных вскрышных пород и снижает эффективность мер по вовлечению отходов вскрыши в хозяйственный оборот.

В новой редакции Закона «О недрах» предусмотрены дополнительные обязанности недропользователя, включающие: предоставление достоверных данных об отходах недропользования; обеспечение сохранности полезных ископаемых и

ценных компонентов, содержащихся в отходах недропользования; раздельное хранение вскрышных и вмещающих горных пород.

Расширены полномочия федеральных органов государственной власти в сфере недропользования в части регулирования порядка использования отходов недропользования и извлеченных из них ценных компонентов. Однако уже первый опыт рассмотрения и согласования проектов разработки месторождений ТПИ показал неоднозначность трактовки ведомствами требований к формированию проектных решений по направлениям использования отходов недропользования, прежде всего вскрышных и вмещающих пород. Такая ситуация несовместима с позицией Президента РФ, высказанной им в Послании Федеральному Собранию от 21.02.2023: «Надо убрать... любые межведомственные противоречия, формальности, обиды, недомолвки, прочую чушь. Все для дела, все для результата – на это должно быть все нацелено».

Так, обеспечение комплексного подхода к рациональному использованию и охране недр необходимо уже на этапе технико-экономического обоснования и подсчета запасов базового месторождения, а принятие решений, направленных не только на эффективную разработку природных минеральных ресурсов, но и на решение технологических задач экологически сбалансированного использования сырья техногенных образований и текущих отходов добычи и переработки полезных ископаемых будет способствовать комплексному освоению недр.

В настоящее время на государственном уровне идет работа по оказанию содействия в разрешении имеющихся законодательных противоречий. В отечественных условиях создание своевременного правового и научно-методического задела в виде технологий, предусматривающих вовлечение в производственный цикл техногенного минерального сырья, обеспечит рациональную интенсивность эксплуатации природных запасов богатых и рядовых руд за счет использования техногенного минерального сырья. Стратегическое значение такого подхода к сохранению ресурсов земных недр переоценить невозможно, так как обеспечение будущих поколений минеральным сырьем высокого качества на как можно более

длительный период и экологизация горного производства и горнопромышленных территорий являются важнейшей государственной задачей.

## **Выводы по главе 2**

1. Определено, что создание единого реестра техногенных образований позволит систематизировать знания о всех сформированных и формирующихся в настоящее время техногенных образованиях, что в результате будет способствовать оптимизации процесса управления техногенными минеральными ресурсами при возникающей в ходе освоения базовых месторождений полезных ископаемых необходимости переработки техногенного минерального сырья, либо определения иных направлений его использования за счет четкого понимания особенностей формирования, строения, состава и свойств отходов недропользования, сложившейся потребности в их возможном использовании в различных сферах промышленности и сельского хозяйства.

2. Выполненный обзор современного состояния геотехнологий и работ, связанных с обоснованием терминов и понятий в области техногенных георесурсов, а также нормативно-правовых документов и актов в сфере недропользования позволил обобщить и уточнить ряд понятий, связанных с обращением и использованием отходов, задействованных в решении вопроса с их обращением в свете перспектив комплексного освоения недр.

3. Предложена классификация техногенных георесурсов, в основе которой учтен ряд классификационных признаков:

- по видам процессов формирования техногенных минеральных образований при освоении рудных месторождений;
- по отраслям промышленности;
- по виду формируемых техногенных образований;
- по виду ценных компонентов, сконцентрированных в техногенном сырье;
- по условиям содержания, формирования, хранения техногенного сырья, а также перспектив дальнейшего использования.

4. Доказано, что накопление и систематизация знаний о техногенных минеральных образованиях с учётом предложенных их классификационных признаков

может и должна быть направлена на совершенствование нормативно-правовой и законодательной базы управления отходами горной промышленности в России и, как следствие, на обеспечение повышения полноты освоения недр Земли.

5. Определено, что в современных условиях своевременное создание научно-методического задела в виде набора доступных инновационных технологий обеспечит продление эксплуатации запасов природных месторождений твердых полезных ископаемых за счет вовлечения в эксплуатацию дополнительных источников техногенного минерального сырья. Стратегическое значение такого подхода к сохранению ресурсов земных недр переоценить невозможно, так как обеспечение будущих поколений минеральным сырьем на возможно более длительный период и экологизация горного производства и горнопромышленных территорий – особо важная государственная задача.



### **ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

#### **3. 1. Исследование влияния вещественного состава техногенного сырья на выбор проектных решений по вовлечению отходов в эксплуатацию**

Характерными процессами, влияющими на изменение свойств и структуры складированных отходов переработки руд, являются их сегрегация и цементация под воздействием климатических условий в районе расположения техногенного образования.

Согласно данным работы [111], общими закономерностями для хранилищ хвостов обогащения руд являются:

- в нижних частях хвостохранилищ отмечается повышение концентрации благородных металлов, что обусловлено отработкой более богатых руд на ранних стадиях освоения месторождений, а также осаждением тяжелых фракций хвостов; кроме того, отмечается резкое обогащение золотом мест поступления (слива) пульпы в гидроотвал;
- золото находится в свободном виде или связано с сульфидными минералами;
- золото, высвобождающееся в процессе окисления из сульфидных минералов, может быть сосредоточено в верхней части техногенного массива до момента его гравитационного перемещения в нижележащие слои;
- содержание благородных металлов повышается в мелких и тонких фракциях вещества хвостов;
- интенсивность процессов окисления сульфидных минералов хвостов зависит от уровня грунтовых вод, процента сульфидной составляющей и наличия сульфатредуцирующих бактерий.

На основании первичной информации, как правило, определяется комплекс необходимых геологоразведочных работ и лабораторных аналитических методов исследования минерального сырья с целью оценки его экономической привлекательности. В последующем обосновываются перспективы вовлечения отходов обогащения руд в промышленный передел путем выявления зон повышенной концентрации цветных, редких и благородных металлов.

С позиций формирования хвостохранилищ следует учитывать, что в процессе намыва из пульповода происходит гравитационная дифференциация твердой фазы пульпы. Таким образом, на месте выпуска пульпы откладываются более тяжелые и наиболее крупные частицы, а по мере продвижения потока и уменьшения его скорости, вплоть до уреза воды пруда осветления, где стекают в основном илистые и коллоидные фракции хвостов переработки руд цветных металлов, осаждаются более легкие частицы.

Стоит отметить, что наибольшее преобразование состава и свойств складированного техногенного сырья происходит, когда в первичном составе руд преобладают минеральные ассоциации, которые под воздействием климатических условий подвержены изменению за счет нарушения структуры минералов. Также важно учитывать влияние физико-химических преобразований на физико-механические характеристики техногенного сырья, поскольку это сказывается на устойчивости поверхности, необходимой для работы добычного и транспортного оборудования, а также требует обоснования соответствующих технологических схем переработки техногенного сырья [46].

Как известно, в случае рассмотрения отходов обогащения руд с позиций условий и сроков складирования такого типа техногенного сырья, выявляются особенности характера его преобразования. А специфика минерального состава оказывает воздействие на интенсивность преобразования характеристик техногенного сырья, которые необходимо учитывать при выборе технологических решений по эксплуатации техногенных образований.

С учетом различных типов техногенных образований, что обусловлено, в первую очередь, вещественным составом и физико-механическими характеристиками слагающего техногенного сырья, была проведена оценка типовых техногенных объектов, сформированных из отходов переработки медно-колчеданных, золотосодержащих и вольфрамо-молибденовых руд. Выбор объектов исследования обусловлен необходимостью исследования принципиальных закономерностей в части преобразования минеральных форм слагающего их техногенного материала, что в результате обуславливает различные требования и подходы к разработке таких техногенных образований.

Так, в качестве медно-колчеданного техногенного образования было выбрано старогоднее Сибайское хвостохранилище, которое было сформировано в результате деятельности обогатительной фабрики, перерабатывающей медно-колчеданную руду ряда месторождений. Выбор такого объекта обусловлен наличием характерной охристой ярозитовой корки на поверхности техногенного образования, которая свидетельствует о протекании окислительных процессов в массиве хвостохранилища, поскольку ярозит является конечным продуктом окисления сульфидных минералов.

Для рассмотрения золотосодержащих техногенных образований были определены техногенные отвалы Пластовского района. Выбор обусловлен тем, что многие из таких объектов являются незначительными по объемам, но они были сформированы при обогащении золотосодержащих руд методом амальгамации, что может свидетельствовать о наличии остатков ртути непосредственно в массивах отвалов.

В качестве типового объекта хранилищ отходов переработки вольфрамомолибденовых руд выбрано Тырнаузское хвостохранилище, которое расположено в гористой природоохранной местности, для которой характерны сходы селевых потоков и размыв расположенных ниже по рельефу хвостохранилищ, что может повлечь экологическую катастрофу в регионах размещения техногенных образований.

Выбор всех объектов исследования обусловлен не только научным интересом к отличиям вещественного состава и особенностям формирования и складирования отходов обогащения, с учетом экологических рисков, которые обусловлены продолжительным складированием указанных видов техногенного сырья.

Кроме того, выбор техногенных образований, сформированных из отходов переработки медно-колчеданных, золотосодержащих и вольфрамомолибденовых руд, обусловлен возможностью их вторичного использования с получением дополнительной товарной продукции. Поэтому важно понимание того, что классификация типов техногенных минеральных образований по признаку особенностей минерального состава сырья, из которого они сформированы, должна учитываться при обосновании направлений использования техногенного сырья.

В случае рассмотрения вскрышных пород, маловероятно дополнительное извлечение ценных компонентов, поскольку практика их промышленного использования направлена больше на строительство автодорог и иных хозяйственных нужд горнопромышленных предприятий, а также рекультивацию техногенно нарушенных горными работами земель.

Что касается хвостохранилищ медно-колчеданных руд, важно отметить, что техногенные образования, сформированные из отходов обогащения медно-колчеданных руд, являются потенциальными источниками как благородных металлов, что обусловлено их высвобождением из упорных сульфидов при протекании окислительных процессов в течение продолжительного хранения техногенного сырья после завершения эксплуатации техногенного массива, так и дополнительным источником цветных, редких и редкоземельных металлов. Поэтому с целью качественной характеристики техногенного сырья старогоднего Сибайского хвостохранилища, сформированного из отходов переработки медно-колчеданных руд предусматривался комплекс работ для определения содержаний основных элементов (Cu, Zn, S, Fe, Au, Ag) и возможного обнаружения редких элементов, с оценкой физических и технологических свойств сырья, представленного в отобранных технологических пробах. Отбор и подготовка проб для лабораторных работ и исследований проводились в соответствии с общепринятыми методиками и требованиями нормативно-технических документов (ГОСТ 14180–80 и др.). Результаты анализа содержания ценных компонентов в пробе хвостов, проведенного в лабораториях ЭЖОН ИПКОН РАН, ФГБУ «ВИМС» и ООО «ГеоГенезис» (г. Магнитогорск), представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Результаты анализа пробы хвостов, отобранных из Старогоднего Сибайского хвостохранилища

Элементы	Содержание	
	Пределы	Среднее
Медь, %	0,16-0,21	0,18
Цинк, %	0,35-0,48	0,42
Сера, %	24,5-31,5	28
Железо, %	18,7-25,4	22,1
Золото, г/т	0,7-2,1	1,4
Серебро, г/т	8,76-13,2	10,94

В результате оценки содержания основных элементов в хвостах Сибайского хвостохранилища установлено, что более высокое содержание золота (1,5–2,1 г/т) приурочено к пляжной зоне хвостохранилища, а в прудковой части хвостохранилища содержание золота снижается до 0,75 г/т, хотя и это значение является промышленным для определения перспектив доизвлечения благородных металлов из хвостов обогащения медно-колчеданных руд. Закономерности изменения вещественного состава в представленных пробах хвостов, отобранных из Сибайского хвостохранилища, с глубиной представлены на рисунке 3.1.

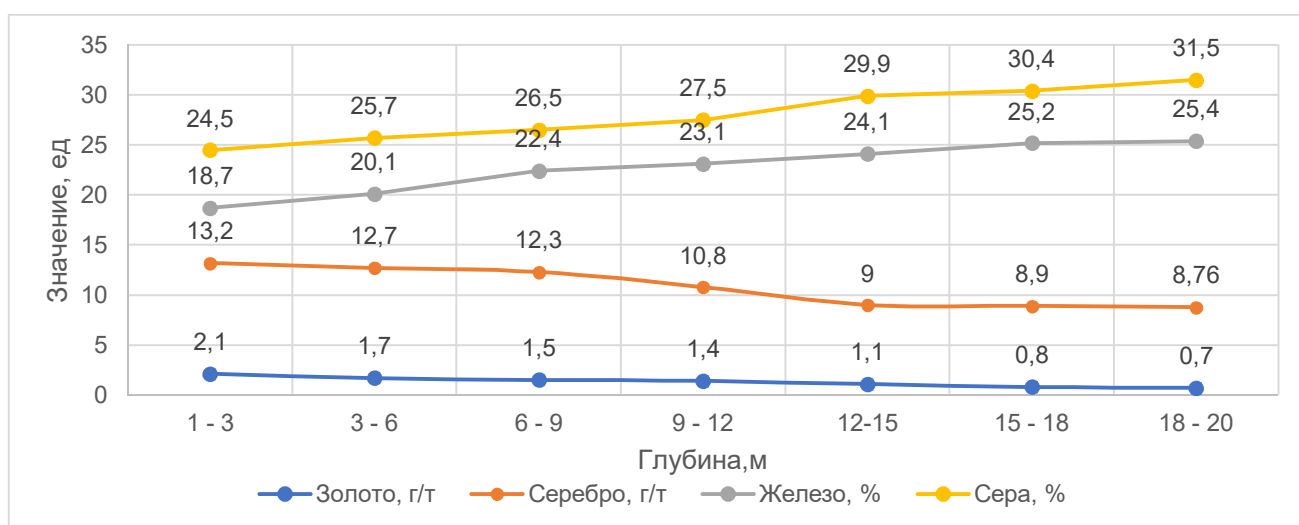


Рисунок 3. 1. Закономерности изменения вещественного состава в представленных пробах хвостов, отобранных из Сибайского хвостохранилища, с глубиной

Анализ данных графика свидетельствует о том, что в среднем концентрации золота и серебра имеют тенденцию к уменьшению с глубиной, что является весьма нехарактерным ввиду того, что тяжелые минеральные формы обычно преобладают на глубинах, однако выше по рельефу расположен склад пиритных хвостов, откуда происходит намыв при осадках в зоне расположения техногенного образования. Кроме того, преобладание благородных металлов вблизи поверхности техногенного объекта может быть связано с их высвобождением в зоне окисления упорных сульфидных минералов.

Для установления минерального состава и характера изменения его с глубиной хвостохранилища был проведен рентгенодифракционный анализ (XRD) проб. Установлено, что главным сульфидным минералом в общей массе является пирит (до 54 %), доля породных минералов, в которых преобладают кварц и пла-

гиоклаз, составляет 45%, присутствуют сульфиды меди и цинка. Среди сульфатных минералов обнаружены ярозит (до 10 %), роценит (до 8 %) и мелантерит (до 32%), что подтверждает протекание окислительных процессов при продолжительном хранении техногенного минерального сырья. Стоит отметить незначительное присутствие карбонатных минералов – доломита до 5% в среднем в массиве. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) в пробах установлено, что медь содержится в десятых долях процентов.

Таким образом, результаты исследования вещественного состава лежалых хвостов обогащения медно-колчеданных руд могут быть дополнительным источником благородных металлов, однако для их эффективного извлечения необходимо обеспечить интенсификацию окислительных процессов, в результате раскрытия упорных сульфидов могут быть получены ценные компоненты из получаемых при окислении продуктивных растворов.

Для оценки содержаний элементов в техногенном сырье из отходов обогащения золото-мышьяковистых руд Новотроицкого месторождения также были отобраны пробы хвостов, результаты анализа содержания ценных компонентов которых представлены в таблице 3.2.

Анализ полученных данных химического состава отходов переработки руд показал наличие содержания золота 0,43–0,71 г/т и меди менее 0,01%, что является благоприятным фактором для вовлечения хвостов в повторную переработку.

Таблица 3.2. Результаты анализа вещественного состава в представленных пробах хвостов, отобранных из Новотроицкого хвостохранилища

Элементы	Среднее содержание
Медь, %	Менее 0,1
Мышьяк, %	0,25
Золото, г/т	0,13-1,21
Серебро, г/т	3,1-14,5

Анализ рисунка 3.2 позволил установить, что содержание благородных металлов и мышьяка с глубиной увеличивается.

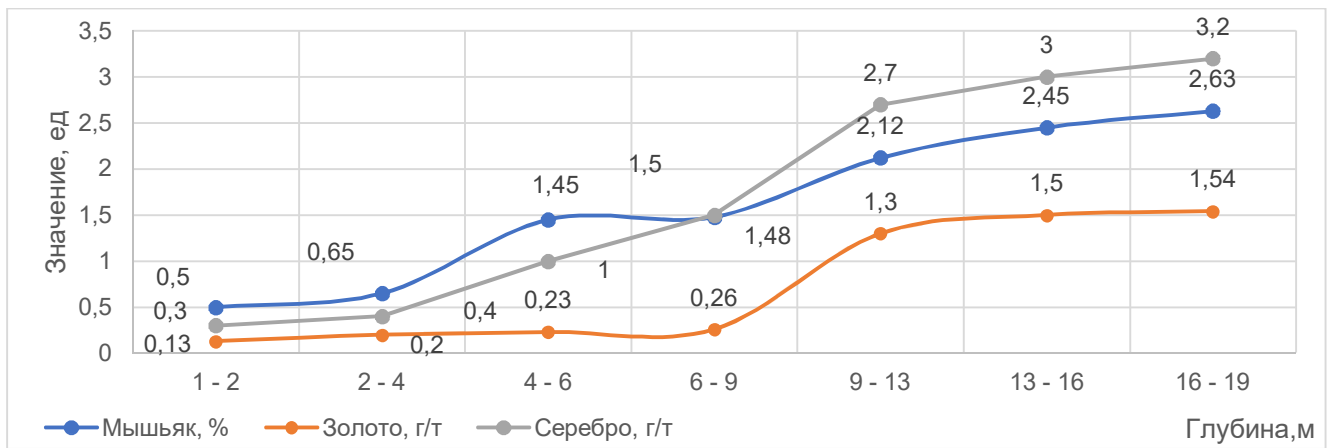


Рисунок 3. 2. Закономерности изменения вещественного состава в представленных пробах хвостов, отобранных из Новотроицкого хвостохранилища, с глубиной

Верхние слои содержат наиболее опасные подвижные формы мышьяка [91], что определяет целесообразность локализации верхнего слоя для дезактивации мышьяка и изысканий методов его ликвидации.

Также важно отметить, что согласно геологической информации, содержание мышьяка при складировании отходов в хвостохранилище составляло не менее 0,9%, а в текущих пробах по результатам опробования в среднем составило 0,25%. Это говорит о перераспределении растворимых мышьяковистых соединений в массиве техногенного объекта и миграции в окружающую среду. При этом этот факт является благоприятным для переработки хвостов в едином технологическом цикле с рудами Кочкарского месторождения, бортовое содержание золота в которых в настоящее время составляет 0,3 г/т.

Также на основе анализа данных геологических фондов в Пластовском районе были выявлены множественные эфельные отвалы, которые были сформированы в результате разработки золотосодержащих месторождений данной золоторудной провинции, результаты анализа содержания ценных компонентов в пробах техногенного сырья которых представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Результаты анализа проб хвостов, отобранных из эфельных отвалов Пластовского золоторудного района

Элементы	Содержание
Ртуть, %	3,9
Мышьяк, %	2,9
Золото, г/т	0,13-1,21
Серебро, г/т	3,1-14,5

Анализ полученных результатов исследования проб хвостов, отобранных из эфельных отвалов Пластовского золоторудного района, позволил установить, что содержания золота и серебра в отходах обогащения золотосодержащих руд, в среднем равное 0,7 г/т и 7 г/т, соответственно, обуславливает перспективы по доизвлечению ценных компонентов из отходов обогащения руд, а также рассмотрения возможно переработки хвостов в едином цикле совместно с хвостами Новотроицкого хвостохранилища.

Выполненная оценка минерального состава техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища и эфельных отвалов показала хорошее раскрытие сростков сульфидных минералов, благоприятное для выщелачивания отходов переработки золотосодержащих руд при минимальных дополнительных энергетических затратах на доизмельчение сырья, что позволяет рекомендовать его переработку на одной из обогатительных фабрик, функционирующих в Южноуральском регионе.

Анализ химического состава техногенного сырья Тырныаузского хвостохранилища был выполнен рентгенофлюоресцентным методом. В процессе складирования хвостов и за период их хранения происходила миграция тонких фракций на глубину массива хвостохранилища и в окружающую среду за счет промывки осадками. Так в нижней и центральной частях хвостохранилища сосредоточен более тонкий материал (рис. 3.3).

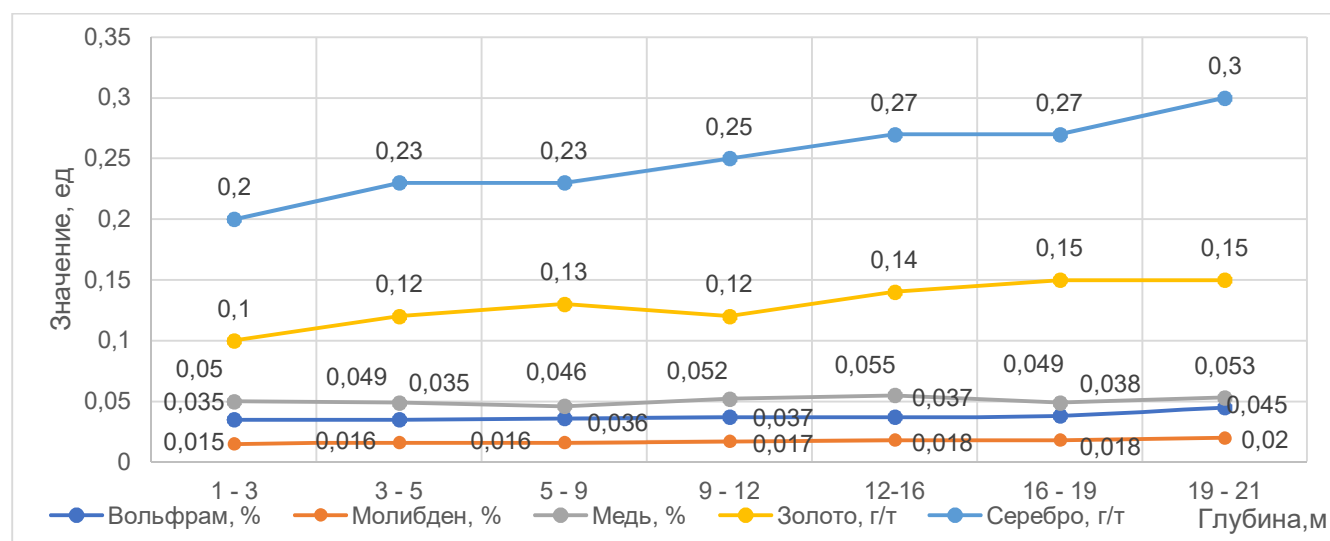


Рисунок 3. 3. Закономерности изменения вещественного состава в представленных пробах хвостов, отобранных из хвостохранилища №2 Тырныаузского ГОКа, с глубиной



Результаты анализа содержания ценных компонентов в исходной пробе хвостов Тырныаузского хвостохранилища №2 представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Результаты анализа исходной пробы хвостов, отобранных из хвостохранилища №2 Тырныаузского ГОКа

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

Низкое содержание большинства ценных элементов в пробе объясняется небольшим содержанием тонкой фракции, в которой в основном сосредоточены цветные и драгоценные металлы. Минеральный анализ показал, что суммарное содержание ценных компонентов составляет менее 1%. Определены единичные зерна пирита, пирротина, молибденита, шеелита, халькопирита.

Весьма низкое содержание ценных компонентов в хвостах свидетельствует о бесперспективности извлечения из них ценных компонентов и целесообразности его использования при производстве керамической плитки, а также для приготовления закладочных смесей и использования их в закладке выработанного пространства подземных камер при доработке запасов Тырныаузского месторождения.

Таким образом, исследованиями определено, что в составе техногенного сырья из отходов обогащения содержится широкий спектр ценных компонентов с весьма невыдержанным и различающимся содержанием. Так, в отходах медно-колчеданных руд содержатся высокие содержания благородных металлов, в связи с чем такие техногенные образования следует рассматривать в качестве дополнительных источников благородных металлов и поиска технологий, направленных на доизвлечение ценных компонентов. При этом, наряду с содержанием базовых для Сибайского месторождения элементов – меди и цинка в различных минеральных ассоциациях, в хвостах присутствуют такие компоненты, как тантал, теллур, а также редкие металлы – рений, ниобий и другие, спрос на которые на

рынке сырья постоянно растет. Однако весьма важно учитывать характер преобразования и распределения ценных компонентов в массиве хвостохранилищ с последующим выделением зон с различными качественно-количественными характеристиками вещественного состава для обоснования эффективной геотехнологии освоения таких объектов с получением дополнительной ценной продукции. Также важно учитывать количественную оценку содержаний сульфидных минеральных ассоциаций, так как это влияет на скорость и характер окисления руд в массиве хвостохранилища и наиболее важно при выборе рациональной схемы переработки техногенного сырья.

Анализ техногенного сырья, представленного в техногенных образованиях, сформированных из отходов обогащения золотосодержащих руд Пластовского района Южноуральского региона, показал, что необходимо производить оценку содержаний токсичных элементов, что обусловлено методами обогащения, которые подразумевали использование ртути или иных вредных компонентов при переработке золотосодержащих руд. Учитывая показатели содержания ценных компонентов в массиве техногенного объекта, сопоставимые с показателями компонентов в природных месторождениях, можно сделать вывод о целесообразности их доизвлечения на близрасположенных обогатительных золотоизвлекательных фабриках совместно с природными рудами разрабатываемых месторождений в едином технологическом цикле.

### **3. 2. Исследование физико-механических характеристик складированных отходов обогащения руд и оценка их влияния на параметры геотехнологии**

Исследование особенностей изменения физико-механических характеристик техногенных отходов, с учетом закономерностей преобразования его вещественного состава и свойств, необходимо для обеспечения его эффективного использования в последующем. Кроме того, это создает условия для заблаговременного выбора вариантов использования сырья с заданными физико-механическими и технологическими характеристиками.

Немаловажно, что детальное изучение строения и структуры сформированных техногенных образований, оценка изменения физико-механических свойств

по глубине и площади, обводнённости, влияние климатических условий, наличие окислительных процессов и т.д., могут быть использованы не только для выбора параметров эффективной технологии освоения техногенных образований, но и для понимания того, какие проектные решения необходимо учитывать на этапе проектирования разработки природного месторождения и реализовывать в ходе его последующей эксплуатации, чтобы обеспечить эффективное и комплексное освоение недр с минимизацией объемов накопления отходов.

Геомеханическое обоснование выбора параметров разработки с целью обеспечения безопасности и экономичности горных работ при освоении техногенных образований включает [31, 91]:

- оценку изменения прочностных и деформационных свойств техногенного сырья по глубине хвостохранилища;
- изучение влияния геолого-структурных особенностей сырья на перераспределение напряжений и локализацию деформаций в бортах техногенных объектов;
- определение углов откосов и места расположения эксплуатационных уступов и их продвижения во времени и пространстве хвостохранилища с учётом оптимизации динамики развития фронта горных работ и изменения качества техногенного сырья.

В этой связи, в лабораториях ЭКОН ИПКОН РАН (г. Москва), ФГБУ «ВИМС» (г. Москва), ООО «ГеоГенезис» (г. Магнитогорск) были проведены исследования техногенного сырья вышеупомянутых техногенных минеральных образований, направленные на определение физико-механических свойств отходов обогащения медно-колчеданных, вольфрамо-молибденовых и золотосодержащих руд.

В ходе исследования производилась оценка базовых физико-механических свойств техногенного сырья, таких как влажность, плотность, пористость, пределы пластичности, сцепление и угол внутреннего трения, коэффициент компрессии и фильтрации, определяющих параметры технологии эксплуатации соответствующих техногенных объектов.

Одной из основных характеристик, определяющих состояние массива, является влажность, которая была обеспечена путем герметичной упаковки проб согласно ГОСТу 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических

характеристик» [16, 73]. Так как при выпадении естественных осадков это может препятствовать безопасной выемке хвостов и транспортировке техногенного сырья, также определялись пределы пластичности.

Для оценки параметров технологии переработки техногенного сырья был проведен анализ гранулометрического состава отобранных проб, характеризующий их дисперсность и фильтрационные свойства и определяющий эффективность технологической схемы. Исследования проводились в лабораторных условиях сухим и мокрым способами, согласно ГОСТу 12536–2014 [55].

Для исследования гранулометрического состава техногенного сырья каждого из выбранных техногенных минеральных образований были отобраны пробы лежалых хвостов из прудковой и пляжной частей Сибайского старогоднего, Новотроицкого и Тырнаузского хвостохранилищ, а также пробы отобраны пробы эфельных отвалов Пластовского района Челябинской области. Продукты отсева на ситах взвешивались с помощью весов.

Для оценки влияния влажности техногенного сырья на прочностные характеристики исследуемого материала проводились испытания грунта методом одноплоскостного среза по схеме консолидировано-дренированный (медленный) срез, согласно ГОСТу 12248–2010 [17].

При выполнении ситового и седиментационного анализа проб состава лежалых хвостов обогащения старогоднего Сибайского хвостохранилища установлено, что сырье является тонкоизмельченным, так как основная масса анализируемой пробы (78,37%) представлена частицами  $-0,040+0$  мм (табл. 3.5). Результаты гранулометрического состава позволяют классифицировать лежалые хвосты обогащения как техногенные алевриты.

Таблица 3.5. Результаты ситового анализа лежалых хвостов обогащения старогоднего Сибайского хвостохранилища

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %		Средняя взвешенная крупность продукта, мм
	Частный	Суммарный	
-5+0,25	3,21	3,21	0,060
-0,25+0,074	14,77	17,98	
-0,074+0,040	3,65	21,63	
-0,040+0	78,37	100,00	
Итого	100,00	-	

На основании результатов по определению влажности техногенного сырья старогоднего Сибайского хвостохранилища были выделены зоны с явно отличающимися значениями данного показателя. Так, определено, что в малом отсеке, расположенном северо-западнее основного отсека, влажность варьируется от 5 до 8 %. В основном отсеке хвостохранилища были выделены две зоны – пляжная с влажностью от 9 до 17 %, и прудковая, с влажностью от 15 до 21 %, что позволяет отнести эти грунты к переувлажненным и сильно переувлажненным породам, соответственно.

Ввиду того, что определяющее влияние на устойчивость горнотехнических конструкций, откосов и основания хвостохранилища при разработке техногенного объекта оказывают физико-механические характеристики техногенного сырья, принято провести оценку изменения физико-механических характеристик по глубине. Усредненные результаты по исследованию физико-механических свойств техногенного сырья Сибайского хвостохранилища систематизированы в таблице 3.6.

Таблица 3.6. Результаты исследования физико-механических характеристик техногенного сырья по глубине старогоднего Сибайского хвостохранилища

Зона отбора проб	Глубина отбора, м	Естественная влажность, W %	Плотность частиц грунта, кг/м <sup>3</sup>	Плотность грунта, кг/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление среза, МПа
Малый отсек	0-2	7,6	2990	2000	40,98	0,0244
	2-4	6,3	3540	2070	39,6	0,0176
	4-6	5,9	3760	2150	34,5	0,0117
Основной отсек	0-2	17,2	3470	1890	39,52	0,0133
	2-4	19,2	3620	3070	33,9	0,0142
	4-6	15,7	3390	1990	35,47	0,0239
	6-8	16,1	3690	2010	39,52	0,0133
	10-13	15,1	3920	2550	31,75	0,0319
	13-17	15,8	3930	2010	32,52	0,0467
	17-20	12,9	4260	2410	32,01	0,0217
20-22	13,1	3990	3760	32,76	0,0376	

Сравнительные результаты изменения прочностных свойств отходов переработки медно-колчеданных руд при различной влажности, на примере одной скважины, представлены на рисунке 3.4. Установлено, что с увеличением естественной влажности в малом отсеке с 6 до 7,6%, а также в основном отсеке с 13 до

19% сцепление снижается, а угол внутреннего трения увеличивается, что обусловлено влиянием тонкодисперсного глинистого материала, преобладающего в составе техногенного медно-колчеданного сырья.

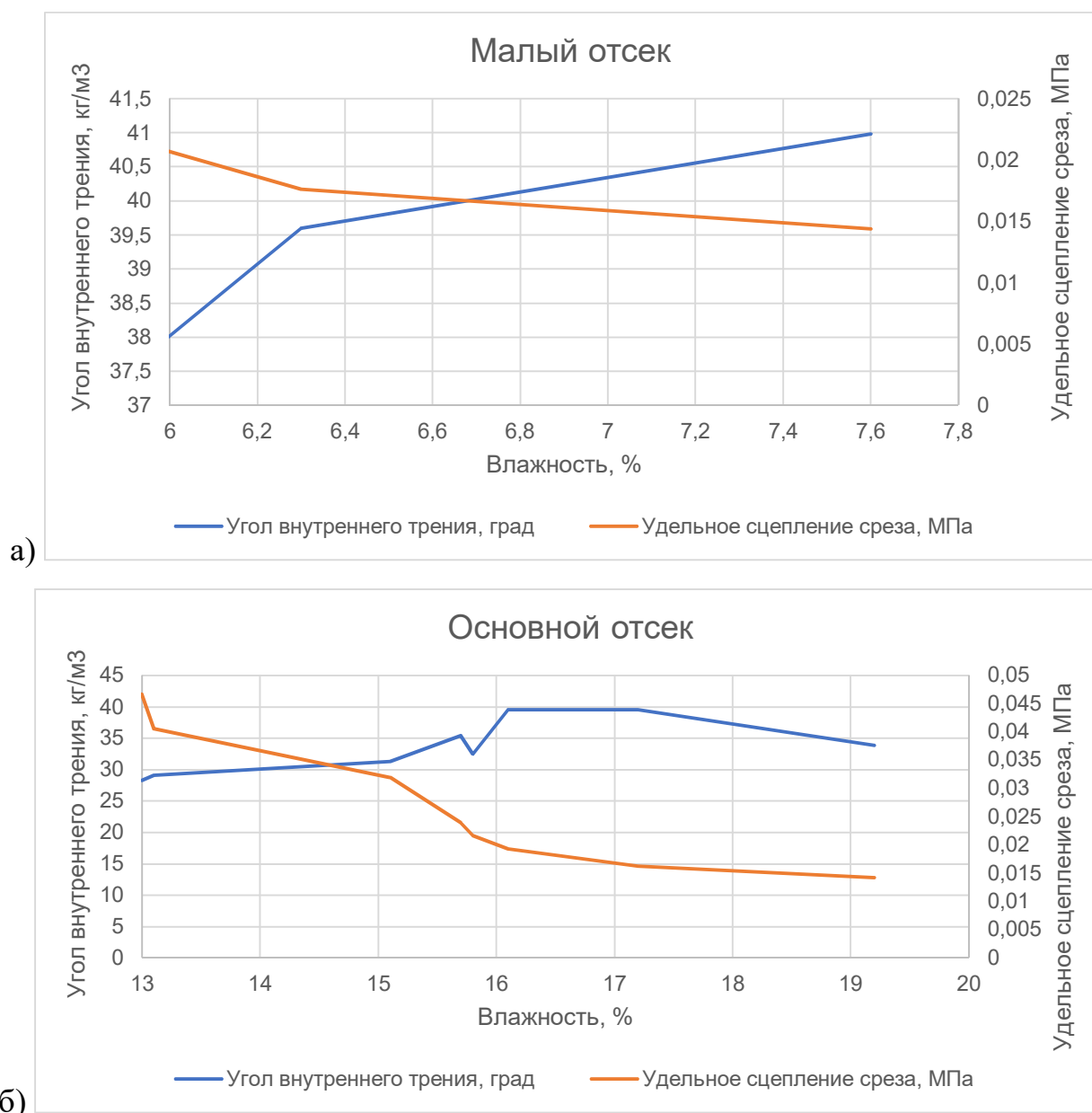


Рисунок 3. 4. Результаты анализа изменения прочностных свойств отходов переработки медно-колчеданных руд

Характеристика гранулометрического состава техногенного материала в Сибайском хвостохранилище свидетельствует о том, что в среднем по массиву преобладает класс крупности  $-0,04+0$  мм, на него приходится 80% от общего количества отобранного материала, что обусловлено особенностями процесса обогащения руд на Сибайской обогатительной фабрике в соответствии с требованиями к тонине помола руды. Однако, 20% в общей массе приходится на более высо-

кие классы крупности, что обусловлено процессами сегрегации и консолидации сырья в более крупные ассоциации. Поэтому для вовлечения в переработку тонкодисперсного материала методами физико-химическими геотехнологиями может потребоваться дополнительная операция по измельчению и последующему обжигу и окомкованию техногенного сырья.

На базе полученных результатов исследования хвостов Сибайского хвостохранилища в основном отсеке выделено 3 участка с отличающимися физико-механическими характеристиками техногенного сырья. Также взяты результаты исследования свойств сырья малого отсека хвостохранилища, который принят за зону №4. Результат зонирования техногенного образования показан на рисунке 3.5.



Рисунок 3. 5. Результат зонирования старогоднего Сибайского хвостохранилища

Анализ результатов испытаний предельного напряжения сдвига образцов техногенного сырья в каждой из выделенных зон позволил установить, что прочностные свойства отходов переработки из зоны №3, к которой приурочена прудковая часть хвостохранилища техногенного образования, ниже, чем в подзонах № 1 (зона наиболее сухих и сцементированных грунтов с характерным охристым цветом), № 2 (зона, в которой характеристики техногенного сырья являются промежуточными относительно зон № 1 и № 3) и № 4 (малый отсек). Результаты исследования прочностных характеристик техногенного сырья в каждой из зон показаны на рисунке 3.6.

Анализ выделенных зон, отличающихся характеристиками техногенного сырья, обуславливает необходимость разработки технико-технологических решений для обеспечения безопасности ведения горных работ в каждой из зон с целью исключения провалов горнотранспортного оборудования и нарушения устойчиво-

сти откосов уступов. Учитывая слабую устойчивость поверхности техногенного образования, и ввиду наличия в нем зон скопления переувлажнённого сырья, может быть рекомендована разработка ослабленных и обводненных участков в зимний период. Однако, в случае активного протекания окислительных процессов в массиве хвостохранилища, сопровождающегося выделением с продуктами реакции тепла, промерзания массива может не произойти, что не обеспечит рост устойчивости откосов и поверхности техногенного образования и требует проведения дополнительных исследований.

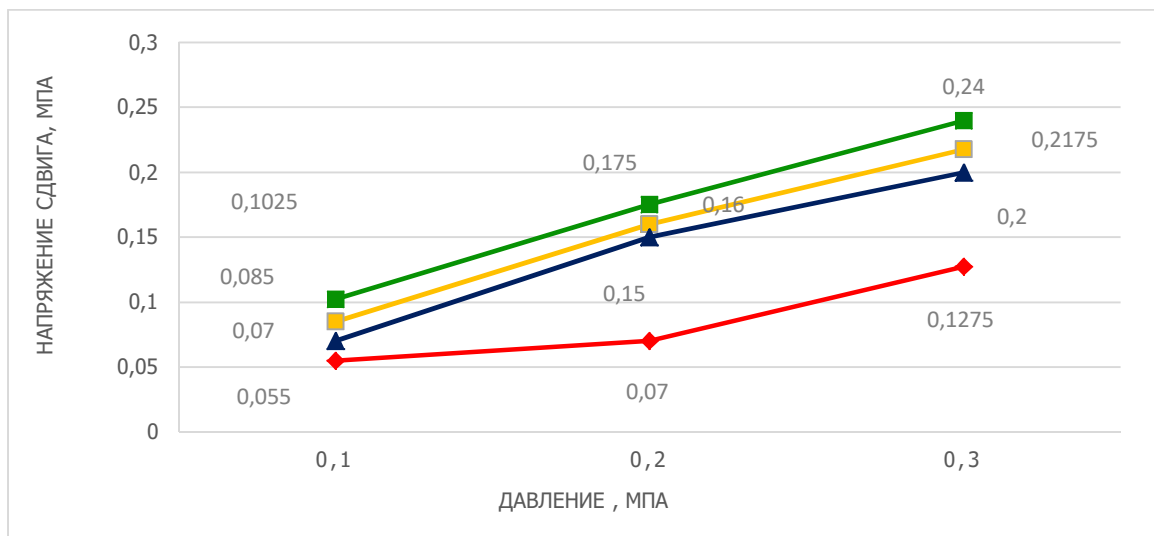


Рисунок 3. 6. Результаты испытания прочностных характеристик техногенного грунта по схеме консолидировано-дренированный (медленный) срез: желтый (зона №1), синий (зона №2), красный (зона №3), зеленый (зона №4)

Результаты выполненных исследований по определению физико-механических характеристик в различных отсеках Сибайского хвостохранилища сырья были использованы в дальнейшем при обосновании технико-технологических решений по вовлечению его в эксплуатацию.

Анализ результатов определения влажности отходов обогащения Тырныаузской фабрики позволил установить, что ее значения варьировалась в пределах от 3 до 5,5 % независимо от зоны отбора проб, что определяет исследуемый массив как весьма устойчивый и не подверженный провалам. Результаты оценки физико-механических свойств техногенного сырья из Тырныаузского хвостохранилища сведены в таблице 3.7.



Таблица 3.7. Результаты оценки физико-механических свойств техногенного сырья из Тырнаузского хвостохранилища при естественной влажности

Зона отбора проб	Глубина отбора, м	Естественная влажность, W %	Плотность частиц грунта, кг/м <sup>3</sup>	Плотность грунта, кг/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление среза, МПа
Пляжная	0-3	4,4	2670	2140	39,4	0,0301
	3-8	5,5	2860	2010	38,4	0,0299
	8-12	3,5	2540	2250	40,1	0,0354
Прудковая	0-3	3,7	2470	2110	39,91	0,0389
	3-8	4,3	2780	2070	39,2	0,0289
	8-12	5,1	2600	2160	38,63	0,0273

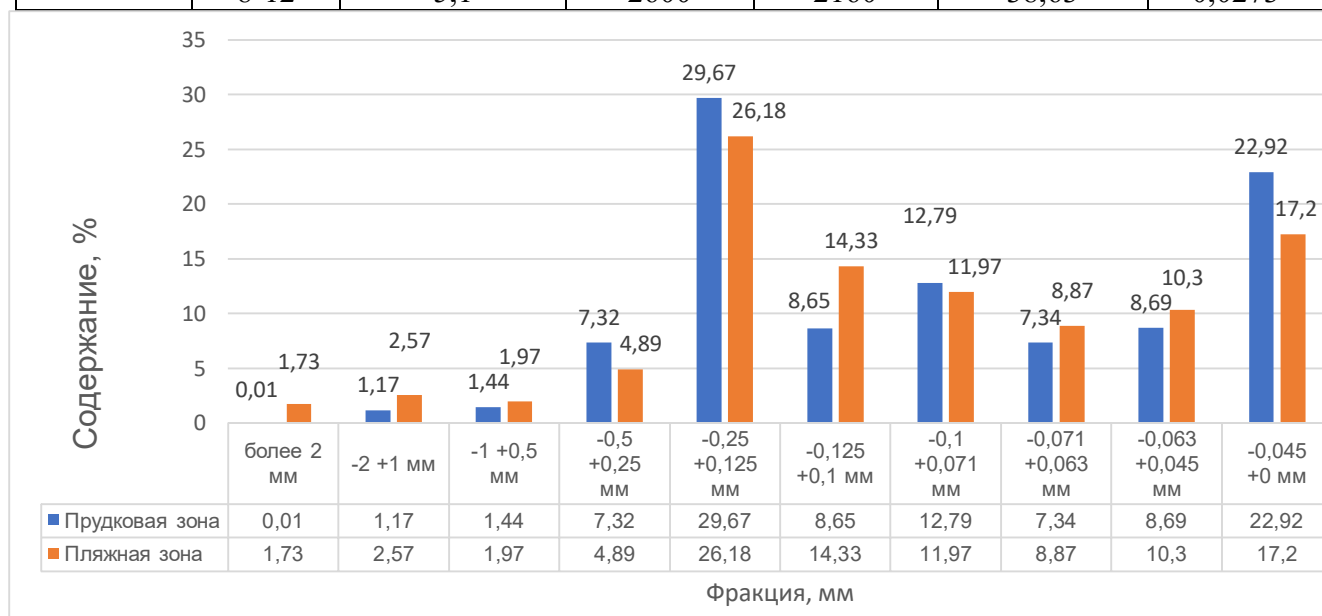


Рисунок 3.7. Результаты гранулометрического состава хвостов Тырнаузской обогатительной фабрики, отобранных из пляжной и прудковой зон хвостохранилища

В ходе анализа гранулометрического состава хвостов Тырнаузской обогатительной фабрики, отобранных из пляжной и прудковой зон хвостохранилища, установлено (рис. 3.7):

– в пробах, отобранных в прудковой зоне, большая часть лежалых хвостов представлена мелким и средним классом;

– в пробах, отобранных в пляжной зоне, до 1/3 части общего объема представлена крупной фракцией, что указывает на необходимость включения дополнительного цикла дезинтеграции хвостов перед переработкой.

В целом исследование гранулометрического состава лежалых хвостов для дальнейшего использования показало, что они представлены преимущественно тонко-мелкозернистой фракцией. Более 92 % техногенного сырья имеют круп-

ность  $-0,45$  мм, что указывает на возможность использования лежалых хвостов обогащения без дополнительной дезинтеграции. Так, хвосты обогащения Тырнаузской обогатительной фабрики могут быть рассмотрены для управления состоянием подрабатываемого массива горных пород при доработке Тырнаузского месторождения, когда объемы формируемых пустот должны быть заполнены твердеющей смесью, подготовленной на основе утилизации лежалых хвостов обогащения при возобновлении работы Эльбрусского комбината.

Испытания образцов сырья из золото-мышьяковистого хвостохранилища Новотроицкого месторождения позволили установить, что природная влажность исследуемых проб изменяется в пределах от 9 до 14 % в пляжной зоне и до 19% в прудковой. Это указывает на необходимость дифференцированного подхода к выбору технических решений по каждой зоне с целью обеспечения устойчивости техногенного массива.

Анализ влияния физико-механические характеристики техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища на устойчивость горнотехнических конструкций, откосов и основания хвостохранилища при разработке техногенного объекта проводился на базе результатов исследования, представленных в таблице 3.8.

Таблица 3.8. Результаты анализа физико-механических свойств сырья Новотроицкого техногенного образования при естественной влажности

Глубина отбора, м	Естественная влажность, W %	Плотность частиц грунта, кг/м <sup>3</sup>	Плотность грунта, кг/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление среза, МПа
0-2	9,0	2800	1440	38,46	0,0299
2-4	9,7	2630	1520	37,2	0,0356
4-6	12,3	2870	1680	37,46	0,0392
6-8	18,0	2780	1800	36,98	0,028
8-10	19,5	2920	1690	36,3	0,021
10-12	29,9	2790	1780	35,34	0,0198

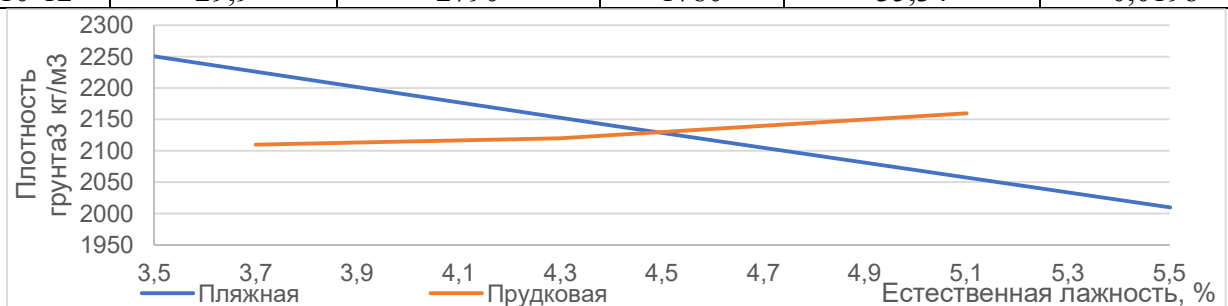


Рисунок 3. 8. Результаты анализа физико-механических свойств сырья Новотроицкого техногенного образования при естественной влажности

Исследованиями гранулометрического состава техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища установлено, что содержание тонких классов крупности  $-0,05+0,002$  мм составляет большую часть массива (75%), что определяет повышенное сцепление. Выход класса  $-0,05+0,01$  мм в грунтах, отобранных на верхних горизонтах хвостохранилища составляет 10 %, на нижних – 31%, что обусловлено особенностями сегрегации, природной эрозии и выщелачивания, поэтому при переработке тонкодисперсного техногенного сырья может потребоваться дополнительная операция по измельчению.

Результаты исследования прочностных характеристик техногенного сырья позволили установить, что с повышением влажности техногенного сырья увеличивается и плотность с 1420 до 1780 кг/м<sup>3</sup>, что обусловлено уплотнением хвостов в более влажном состоянии и сокращением пористости. Сравнение показателей прочностных свойств отходов переработки руд при изменении влажности сырья Новотроицкого хвостохранилища показали, что с увеличением естественной влажности сцепление снижается, а угол внутреннего трения – наоборот увеличивается, что обусловлено влиянием тонкодисперсного глинистого материала, преобладающего в составе техногенного золотосодержащего сырья.

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что снижение влажности техногенного сырья способствует повышению механической устойчивости массива.

Таким образом, исследование физико-механических свойств хвостов обогащения руд Сибайского, Тырныаузского и Новотроицкого месторождений, представленных в соответствующих техногенных образованиях, позволило определить основные характеристики, определяющие устойчивость горнотехнических конструкций при вовлечении этих объектов в эксплуатацию. Это позволило создать задел в изыскании технологий для разработки исследуемых техногенных минеральных образований с обоснованием решений, обеспечивающих безопасное и эффективное освоение исследуемых техногенных объектов.

Полученные результаты исследования физико-механических свойств различных типов техногенного сырья легли в основу выбора выемочно-погрузочного и горнотранспортного оборудования по условиям обеспечения устойчивости по-

верхности и горнотехнических конструкций исследуемых техногенных образований. Исследованные показатели, наряду с изучением технологических свойств техногенного сырья, использованные при разработке технико-технологических рекомендаций, представлены в 4 главе настоящей диссертации.

### **3. 3. Исследование технологических свойств отходов обогащения для выбора технологических схем их складирования и последующего использования**

Каждый вид техногенного сырья требует индивидуального и системного подхода к его технологической оценке: выбору схемы рудоподготовки, режима переработки техногенного сырья с учетом технологических свойств и их контрастности, особенностей вещественного состава [91]. Глубокая переработка техногенного сырья означает максимально возможное извлечение всех ценных компонентов в процессе полного цикла переработки, включающего обогащение, пиро-, гидро-, биогидрометаллургический передел, а также безопасную утилизацию образованных вторичных отходов.

Значительное влияние на преобразование состава и свойств техногенного сырья оказывает вещественный состав отходов обогащения, условия его складирования и хранения. В этой связи исследования своевременности эффективного вовлечения техногенного сырья в эксплуатацию, а также обоснование требований к способу его складирования должны базироваться на изучении закономерностей и характера преобразования отходов различных типов в заданных условиях складирования и хранения.

Например, в составе руд и пород, где преобладают сульфидные минералы активно протекают процессы окисления, характер которых необходимо учитывать как при обосновании выбора технологической схемы добычи, при учете сроков хранения техногенного сырья и его готовности к эксплуатации, так и технологической схемы переработки. Реализация исследований, направленных на решение данного вопроса, должна быть ориентирована на обоснование параметров проектных решений по вовлечению отходов недропользования в эксплуатацию.

Важно разделять техногенные образования, которые уже сформированы и длительно хранятся, и те, которые находятся на стадии эксплуатации.

Для оценки потери качества техногенного сырья, ввиду миграции металлов и иных элементов в окружающую среду, в силу их природного выщелачивания и эрозии, были систематизированы результаты исследований химического состава хвостов в динамике их хранения.

В результате установлено, что в процессе хранения хвостов обогащения медно-колчеданных руд, складированных в старогоднем Сибайском хвостохранилище, содержание меди в хвостохранилище практически не изменилось, но изменилась минеральная форма хвостов с преобладанием сульфатных минералов. Содержание цинка увеличилось примерно в 1,5 раза. Это может быть связано с несовпадением точек оценки и отбора проб хвостов в различные периоды. Кроме того, стоит отметить, что содержание железа и серы снизилось, что обусловлено окислением сульфидных минералов этих элементов с последующим разложением и дальнейшей миграцией элементов вглубь хвостохранилища и в окружающую среду.

Также установлен крайне неравномерный характер распределения ценных компонентов по классам крупности в исследуемых пробах техногенного сырья. Данные таблиц 3.9 и 3.10 свидетельствуют о том, что наибольшее содержание благородных металлов приурочено к мелким классам крупности отходов переработки руд, что объясняется тонкозернистой вкрапленностью благородных металлов и высокой тониной измельчения руд при обогащении.

Таблица 3.9. Содержание химических элементов по классам крупности в хвостах старогоднего Сибайского хвостохранилища

№ п/п	Класс крупности, мм	Содержание			
		Au, г/г	Ag, г/г	Cu, %	Zn, %
1.	-5+0,25	0,44	0,04	0,16	0,15
2.	-0,25+0,071	0,21	0,03	0,084	0,16
3.	-0.071+0,04	0,66	0,12	0,13	0,21
4.	-0,04+0	1,26	0,17	0,33	0,27

Таблица 3.10. Распределение химических элементов по классам крупности в хвостах старогоднего Сибайского хвостохранилища

№ п/п	Класс крупности, мм	Распределение по классам крупности, %			
		Au	Ag	Cu	Zn
1.	-5+0,25	1,34	0,90	1,83	1,94
2.	-0,25+0,071	2,93	3,09	4,42	9,54
3.	-0.071+0,04	2,28	3,06	1,69	3,10
4.	-0,04+0	93,45	92,96	92,07	85,42

Достаточное высокое содержание ценных компонентов в техногенном сырье Сибайского хвостохранилища может представлять перспективы для вторичной переработки. Однако, необходимо учитывать характер вкрапленности и сростков минеральных форм, а также особенности окисления минералов. Золото упорное для извлечения составляет 56,3 % от общего содержания его в пиритных хвостах. Из этого следует, что для эффективного извлечения благородных металлов из хвостов Сибайского хвостохранилища необходимо произвести вскрытие их в сульфидных минералах путем дополнительного измельчения, либо химического воздействия и обеспечить условия для хранения техногенно сырья в массиве с обеспечением интенсификации окислительных процессов, в результате чего высвобождение ценных компонентов из сульфидных минералов будет интенсифицировано непосредственно в массиве. Основная технологическая сложность в последнем случае – это отсутствие специализированных гидроизоляционных настилов для сбора рассолов окисления. В этой связи такой подход может быть рассмотрен при целенаправленном заблаговременном решении в проекте процессов управления техногенным сырьем с преобладанием сульфидной составляющей, содержащей ценные компоненты.

Гидрометаллургический способ вскрытия зерен благородных металлов в сульфидах методом кучного выщелачивания в массиве хвостохранилища бесперспективен, ввиду весьма низкой проницаемости тонко измельченных пиритных хвостов. Этот способ можно осуществить посредством обжига хвостов с последующим выщелачиванием металлов из огарков в специально формируемых техногенных образованиях.

С целью вовлечения техногенного сырья Сибайского старогоднего хвостохранилища в эффективную промышленную эксплуатацию были проведены исследования на предмет изучения пригодности использования техногенного сырья для приготовления цементов. Для этого, помимо пробы хвостов обогащения медноколчеданных руд, была взята проба известняка (рис. 3.9), а также использовался цемент ЦЕМ II 32,5Н ГОСТ 31108–2016, активность которого составила 36,8 МПа.



Рисунок 3. 9. Вид известняка из исходной пробы

Влажность взятой пробы хвостов обогащения медно-колчеданных руд составила 15%, плотность 3000 кг/м<sup>3</sup>.

Проба известняка представлена нефракционированным материалом с размерами зёрен от 5 до 100 мм. Истинная плотность составляет: 2680 кг/м<sup>3</sup>. Химический состав элементов в хвостах приведен в таблице 3.10.

Результаты рентгенографического фазового анализа известняка в пробе показали, что порода включает в себя следующие минералы: кальцит, доломит, бассанит. Количественное соотношение минералов по результатам рентгенографического фазового анализа приведено в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Химический состав известняка в исходной пробе

CaO, %	MgO, %	SiO <sub>2</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	ППП, %
51,38	3,78	0,13	0,47	0,06	43,81

По результатам оптико-петрографического анализа материал классифицирован как «Мрамор неравномернозернистый». Текстура массивная, участками трещиноватая. Структура гетеробластовая, от мелко- до крупнозернистой, пойкилобластовая.

В процессе исследования были задействованы различные компоненты для создания смеси. Техническая вода использовалась в качестве связующего элемента, тогда как отходы обогащения и известняк служили основными компонентами. В некоторых вариантах добавлялся цемент, что позволяло оценить его влияние на прочностные характеристики получаемой смеси. Составы с малой прочностью, не превышающей 1 МПа, были отданы на проверку в специализированную лабораторию. Целью лабораторных испытаний было определение возможности снижения класса опасности отходов обогащения медно-колчеданных руд с III до V класса.

Методика приготовления составов включала следующую последовательность действий:

- 1) Составы моделировались по принципам получения закладочных смесей для обеспечения дальнейшей транспортировки к местам складирования.
- 2) Растекаемость (подвижность) закладочной смеси контролировалась по методу Суттарда (рис. 3.10). В результате исследования было определено, что растекаемость исследуемых закладочных смесей выдерживалась в пределах 25–27 см.



Рисунок 3. 10. Определение подвижности закладочной смеси по методу Суттарда

- 3) Приготовленную смесь разливали в формы для получения образцов и определения пределов прочности при сжатии в контрольные сроки испытаний. На каждый срок испытаний готовили по три образца из состава одной рецептуры.
- 4) После затвердевания образцы расформовывали и хранили в камере нормального твердения при температуре  $20 \pm 2$  °C и влажности 100%.

Испытания полученных образцов проводили через 7, 28, 60 и 90 суток на гидравлическом прессе на одноосное сжатие в соответствии с ГОСТом 10180 (табл. 3.12).

Исследование перспектив использования вторичных обходов выщелачивания для подготовки рекультивационного материала показало техническую возможность их эффективного ввода в состав разработанной смеси для рекультивации карьера и ликвидации процессов горения сульфидов в нижней зоне Сибайского месторождения, а также для рекультивации старогонных и затопленных хранилищ.

Проведенные исследования подтвердили возможность снижения класса опасности отходов обогатительного передела посредством подбора определенных составов смесей. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направле-



ны на оптимизацию составов, а также на изучение долгосрочных изменений в свойствах создаваемых материалов, что откроет новые перспективы в области экологии и утилизации отходов. Это, в свою очередь, может способствовать более эффективному управлению отходами и улучшению экологической ситуацией в регионах, затронутых горнодобывающей отраслью.

Таблица 3.12. Результаты испытания полученных образцов

№ состава	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг				Плотность, смеси, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, суток			В/В	Распływ см
	ТОС	Отсев	Шлак	Вода		7	28	90		
12,10,22										
ЧС 1	90	1094	300	460	1960	0,	1.41	3,4	0,84	24,5
ЧС 2	104	1026	346	460	1934	0,	1.57	2,6	0,98	25
ЧС 3	119	952	396	460	1910	0,	1.71	2,6	1,119	26
12,10,22										
ЧС 1**	90	1094	300	460	2100			3,8	0,84	24,5
ЧС 3**	119	952	396	460	2100			3,4	1,119	26

\*\*Образцы испытаны в 28 суток и лежали в воде после испытания 70 суток

Перспективы дальнейших исследований в будущем целесообразно рассмотреть на предмет возможности применения альтернативных материалов и компонентов, что позволит еще больше снизить уровень опасности отходов. Также важным направлением является проведение полевых испытаний, чтобы оценить эффективность предложенных составов в реальных условиях.

Таким образом, исследование изменения класса опасности отходов обогатительного передела представляет собой важный шаг к более безопасным и эффективным методам управления отходами, потенциально способствуя улучшению экологической устойчивости и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Для изученных проб лежалых хвостов Тырнаузского хвостохранилища предварительно было проведено выделение тяжелой и легкой фракций. В лабораторном масштабе проведены исследования по извлечению из хвостов золота, платины, молибдена и вольфрама по двум технологическим схемам: гравитационной и флотационной.

С учетом низкого содержания в хвостах обогащения ценных компонентов установлено, что возможности гравитационного обогащения не перспективны. Гравитационная схема не дала должного эффекта, как в результате низкого содержания ценных компонентов в тяжелой фракции, так и по неудовлетворительным результатам извлечения металлов. В связи с этим экономическая целесообразность этой схемы отклонена от дальнейшего рассмотрения.

Флотационная схема обогащения хвостов Тырнаузской фабрики позволяет получить сульфидный и вольфрамосодержащий продукты 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. Результатом выполненных экспериментов по переработке лежалых хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд Тырнаузского месторождения доказано, что они в целом не пригодны для получения дополнительной товарной металлической продукции и должны быть исследованы на предмет иных направлений промышленного использования.

Для исследования возможности формирования вяжущих свойств лежалых хвостов при обжиге и оценке температуры, при которой хвосты обогащения меняют свою массу, был проведен термогравиметрический анализ (ТГА). В результате установлено, что при обжиге пробы при температурах от 650°C до 750°C происходит наиболее интенсивная потеря массы вещества, что свидетельствует о преобразовании именно при этой температуре минеральных форм и возможности получения собственной вяжущей активности хвостов после обжига при такой температуре. Поэтому для дальнейших исследований, направленных на определение собственной вяжущей активности, приобретенной при обжиге хвостов, для обжига была принята средняя температура – 700 °С.

Далее для исследования вяжущей активности хвостов обогащения были исследованы составы с различным соотношением исходных (без обжига) и обожженных хвостов обогащения: 25% исходных и 75% обожженных; 50% исходных и 50% обожженных; 75% исходных и 25 обожженных; 100% исходных. Результаты

испытаний образцов закладочной смеси, 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 3.13. Динамика набора прочности образцов закладочной смеси 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

Также хвосты обогащения были исследованы на предмет возможности приготовления цементов.

Определенный в ходе анализа исходный состав хвостов представлен в таблице 3.14.

Состав хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд, который был получен в результате корректировки исходного сырья, представлен в таблице 3.15.

Таблица 3.14. Исходный состав хвостов (основные компоненты), %

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	сумма
17	59	9	9	94

Таблица 3.15. Корректировка состав сырьевой смеси для получения цемента из хвостов (основные компоненты), %

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	сумма
70	23	3,5	3,5	100

Методика приготовления составов на основе хвостов обогащения Тырныаузского месторождения и оценки возможности их использования для приготовления цементов включала:

- 1) Для приготовления пробных составов цементов бралась дозировка: хвосты – 24,7 %, CaCO<sub>3</sub> – 75,3 %.
- 2) Хвосты и известняк были размолоты отдельно до размерности, соответствующей полному проходу через сито 0,1 мм. Далее приготавливались составы, перечень которых отображен в таблице 3.16.

Таблица 3.16. Описание составов на основе хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд, взятых для приготовления пробных цементов

№ п/п	Смесь, г	Вода, мл	CaCl <sub>2</sub> x2H <sub>2</sub> O
1	200 (50+150)	40	6,67
2	200 (50+150)	30	13,4
3	200 (50+150)	30	18,6
4	200 (50+150)	30	26,7

- 3) Хвосты, известняк и хлорид кальция были использованы для изготовления «образцов-таблеток» прессованием для последующего обжига. Составы сырьевой смеси для приготовления таблеток представлены в таблице 3.17. Хлорид кальция добавлен сверх 100 % смеси.

Таблица 3.17. Составы сырьевой смеси

№ п/п	Хвосты, %	Известняк, %	Вода, %	CaCl <sub>2</sub> x2H <sub>2</sub> O, %
1	25	75	20	3
2	25	75	15	7
3	25	75	15	9
4	25	75	15	13

- 4) Далее обжиг сырьевой смеси производили в муфеле при 1200 °С. Удовлетворительное спекание смеси получено при содержании хлорида кальция 9%.
- 5) Полученный в результате обжига материал (алинитовый клинкер) обжигали измельчали до тонкости помола цемента (минус 0,08 мм -10 %).

Для определения прочности изготавливали образцы по ГОСТу 310.4. Испытание образцов балочек по ГОСТу 310.4 показало, что алинитовый цемент соответствует марке 100.

При анализе результатов по оценке содержания ценных компонентов и вредных примесей и определенный гранулометрический состав Новотроицкого хвостохранилища установлено, что повышенные концентрации драгоценных металлов соответствуют двум классам крупности: - 1+0,25 мм и -0,04+0 мм, что и определило направление дальнейших исследований по изучению вещественного состава техногенного золотосодержащего сырья в части его эффективной переработки с извлечением благородных металлов из лежалых отходов переработки руд.

Ввиду того, что наиболее благоприятным способом вторичного обогащения техногенного сырья, сложенного из отходов переработки золотосодержащих руд, является выщелачивание, что обусловлено тонким помолом техногенного сырья для раскрытия упорных минеральных форм и их преобразования при продолжительном хранении, были выполнены исследования по выщелачиванию благородных металлов из хвостов обогащения руд золото-мышьяковистого Новотроицкого месторождения. Методика подготовки технологической пробы для проведения эксперимента заключалась в дополнительном измельчении техногенного сырья до класса крупности -0,075 мм с содержанием 70%, 75%, 80% и 85 %. Подготовка проб включала дополнительное доизмельчение проб для разделения сцементированных фракций с последующим истиранием проб сухим способом. Концентрация цианида натрия и продолжительность выщелачивания варьировались с учетом принятых методик опытно-промышленных технологических испытаний процессов выщелачивания золота.

В ходе проведения испытания было установлено, что отходы переработки золото-мышьяковистых руд относятся к легко цианируемому сырью, так как даже при концентрации реагента 0,02% за 16 часов цианирования, достигается извлечение металла на уровне 65%, что сопоставимо с фактическими показателями работы золотоизвлекательной фабрики по рудному сырью (табл. 3.18).

Таблица 3.18. Систематизированные показатели извлечения золота по результатам цианирования техногенного сырья в исследовательской лаборатории

Доля готового класса -0,075 мм, %	Продолжительность выщелачивания, час	Концентрация цианида в растворе, %	Извлечение золота, %
70,0	16	0,090	77,2
	24	0,090	77,9
	30	0,090	76,9
	42	0,090	84,9
75,0	16	0,090	79,2
	24	0,070	86,5
	30	0,030	80,4
	42	0,030	88,2
80,0	16	0,070	85,3
	24	0,070	87,4
	30	0,030	88,2
	42	0,030	84,9
85,0	16	0,090	83,3
	24	0,090	81,1
	30	0,090	83,3
	42	0,090	84,9

Анализ данных, представленных в таблице 3.18, свидетельствует о том, что увеличение тонины помола до 75% готового класса -0,075 мм позволяет незначительно повысить уровень извлечения золота с 77,2 до 79,2%. Вместе с тем максимальное извлечение золота на уровне 88,2% при цианировании с получением 75% готового класса -0,075 мм, сопоставимо с таковым при цианировании исходного сырья.

Таким образом, результаты проведённых исследований показали перспективность переработки техногенного золотосодержащего сырья цианированием, а также данные результаты могут быть использованы при переработке такого техногенного сырья в ходе работы расположенных поблизости золотоизвлекательных обогатительных фабрик, например, расположенных на центральной площадке ПАО «ЮГК», деятельность которой связана с обогащением золотосодержащих руд месторождений данного региона с шихтовкой к ним дополнительно измельченных хвостов Новотроицкого месторождения для переработки в едином технологическом цикле.

Таким образом, выполненные исследования характера преобразования техногенного сырья и его технологических свойств при продолжительном хранении

свидетельствуют о том, что:

– техногенное сырье из отходов переработки медно-колчеданных руд с преобладанием сульфидных форм в составе первичных хвостов (более 30–40 %) характеризуется частичным окислением, а даже не столь высокое содержание ценных компонентов определяет перспективность изыскания технологии его эффективного промышленного использования, что требует изучения минеральных ассоциаций текущих отходов и лежалых. При этом важно понимать, что закономерности минерального преобразования ценных компонентов должны и могут быть учтены при выборе технологических схем складирования отходов для их последующего использования. В данном случае необходимо развитие исследований по изысканию технологий целенаправленного формирования техногенных емкостей для складирования отходов и доведения их до необходимых технологических характеристик за счет интенсификации окислительных процессов на базе установленных закономерностей преобразования сырья;

– наряду с содержанием базовых для медно-колчеданных месторождений элементов – меди и цинка в различных минеральных ассоциациях, в хвостах присутствуют такие компоненты, как тантал, теллур, а также редкие металлы – рений, ниобий и другие, спрос на которые на рынке сырья постоянно растет;

– техногенное сырье из отходов переработки вольфрамо-молибденовых руд может быть рассмотрено в качестве перспектив для извлечения ценных компонентов. Однако, после длительного хранения, преобразования техногенного сырья и выноса ценных компонентов из техногенного массива такие техногенные объекты могут быть рассмотрены и в строительных областях, для строительства автодорог и прочих нужд промышленности, в том числе для производства низкомарочных промышленных цементов со специальными свойствами. В данном случае необходима оценка перспектив по исследованию техногенного сырья для приготовления закладочных смесей в части исследования их вяжущей активности [63];

– техногенное сырье из золотосодержащих лежалых отходов должно быть исследовано с учетом оценки количества в них сульфидной составляющей, поскольку низкое содержание сульфидов, как в случае с Новотроицким хвостохранилищем и эфельными отвалами, не приводит к интенсификации окислительных

процессов и обуславливает возможность проведения дополнительного выщелачивания благородных металлов текущих хвостов, в то время, как концентрации сульфидов более 30% в исходных хвостах, требуют доизучения закономерностей преобразования техногенного сырья, так как в данном случае может начаться образование зоны гипергенеза, что обусловит не только важность учета характера распределения ценных компонентов в пределах хвостохранилища, но и дополнительный учет соотношения окисленных и неокисленных минералов, что в результате будет влиять на технологические схемы переработки различного по характеру окисления техногенного сырья;

– среднее содержание золота в хвостах Новотроицкого хвостохранилища находится в пределах 0,43–0,71 г/т, концентрация меди незначительна и составляет менее 0,01%, что является благоприятным фактором для вовлечения в повторную переработку техногенного золотосодержащего сырья. Также важно отметить, что согласно геологической информации, содержание мышьяка в исходных хвостах при складировании их в хвостохранилище составляло не менее 0,9%, при том, что в пробах по результатам опробования в среднем составило 0,25%. Это свидетельствует о перераспределении хорошо растворимых мышьяковистых соединений в теле техногенного объекта и миграции за его пределы. При этом этот факт является благоприятным для переработки хвостов в едином технологическом цикле с рудами Кочкарского месторождения, бортовое содержание золота в которых в настоящее время составляет 0,3 г/т.

Подводя итог, следует сделать вывод, что сфере управления отходами недропользования необходимо уделять большое внимание исходным данным, характеру преобразования вещественного состава в связи с особенностями складирования и хранения отходов, а также экологическим и экономическим рискам продолжительного хранения техногенного сырья из различных видов отходов недропользования. Такой подход призван обеспечить вариативность приоритизации освоения техногенных минеральных объектов с увязкой на достижение баланса при сохранении и преумножении качественных характеристик техногенного сырья за счет рационального управления отходами и снижения экологической нагрузки на горнопромышленные регионы.



### **3. 4. Обоснование рисков продолжительного складирования отходов недропользования с учетом особенностей их вещественного состава и свойств**

Одним из отягощающих факторов хранения техногенного сырья является продолжительность его складирования и накопления. Накопление техногенных образований без вовлечения их в переработку, в масштабах ведения горных работ в стране, носит негативные последствия. В процессе длительного складирования отходов недропользования на отведенной территории в формируемых техногенных образованиях происходит накопление не только полезных, но и в большинстве случаев вредных компонентов, оказывающих существенное негативное влияние на окружающую среду.

Экологические проблемы, связанные с миграцией химических элементов в окружающую среду, выявлены и признаны во многих ведущих странах мирового сообщества. Огромное внимание уделяется изучению поведения тяжелых металлов, мышьяка и других химических элементов в различных минеральных ассоциациях с оценкой их влияния на окружающую среду с целью выявления закономерностей распределения элементов в техногенных образованиях и, как следствие, принятия мер по предотвращению, либо уменьшению влияния токсичных химических элементов на экологическое состояние горнодобывающих регионов. Микроэлементное загрязнение окружающей среды представляет наибольшую опасность, поскольку вблизи промышленных предприятий образуются биогеохимические зоны с повышенным содержанием микроэлементов-загрязнителей, что, в свою очередь, негативно сказывается на жизнедеятельности человека, животного и растительного мира.

В связи с этим риски, возникающие при продолжительном складировании отходов недропользования, для оценки и воздействия следует разделять на группы:

- природные;
- экономические;
- экологические;
- технологические;
- социальные.

На сегодняшний день в нашей стране огромное количество территорий с еще не ликвидированными зонами загрязнения, где осуществлялось складирование и хранение отходов, получаемых в результате освоения месторождений. Оценка воздействия техногенных образований должна подразумевать исследование их влияния на компоненты окружающей среды с разделением влияния по каждому из факторов воздействия на растительный и животный миры.

Техногенные образования, сформированные из отходов обогащения медно-колчеданных руд весьма опасны ввиду развития при их продолжительном хранении кислотного дренажа с последующей миграцией в окружающую среду и водные объекты региона не только потенциально опасных элементов таких, как ртуть, сера, мышьяк, бериллий, марганец, хром, кадмий, таллий и пр., но и ценных компонентов, не извлеченных при первичной переработке руд.

Исследования характеристик техногенного сырья, отобранного из старогоднего Сибайского хвостохранилища, показали, что значение рН на отметках от поверхности в глубину 2–3,5 м равно 1–2, что подтверждают образование кислотного дренажа на поверхности техногенного образования с проникновением сернокислых растворов в глубину развития зоны окисления. При этом, следует отметить, что значения рН ниже отметки 2–3,5 м равны 6–7, что свидетельствует о нейтрализации среды окисления в глубине хвостохранилища: это указывает на необходимость скорейшего принятия технологических решений по утилизации лежалых хвостов обогащения старогоднего Сибайского хвостохранилища медно-колчеданных руд № 2 с обоснованием возможности их вторичного промышленного использования.

Вблизи Новотроицкого хвостохранилища и эфельных отвалов, которые сформированы в результате переработки руд, содержащих мышьяк, ртуть и прочие токсичные элементы, наблюдается превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) элементов в почвах в десятки и сотни раз. Так, например, анализ закономерностей распределения содержания токсичных элементов в техногенном сырье, отобранном из техногенных минеральных образований прошлых лет Пластовского района, позволил определить, что в объектах, которые стали результатом переработки месторождений этой золоторудной провинции, количество

вредных примесей превысило предельно допустимые концентрации в почвах: среднее содержание меди по всех скважинам превышает ПДК в 2 раза, ртути – в 2 раза, цинка – в 2,5 раза, никеля – в 1,5 раза, мышьяка – в 1200 раз (рис. 3.11).

С целью подтверждения оценки уровня воздействия техногенных объектов на растительный мир разработана и апробирована методика организации работ на основе сопоставления содержаний токсичных элементов в пробах, отобранных из техногенных образований и «эталонных» территорий с целью обеспечения единого научно-методического подхода к оценке растительных проб при изучении воздействия техногенных отвалов, а именно, отходов добычи и переработки золото-содержащих руд на экосистему региона.

Сравнительные исследования были выполнены с целью разработки защитных мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в региональном масштабе. Под «эталонными» территориями следует принимать наиболее экологически благоприятные районы, к которым относятся лесные территории, в пределах размещения которых запрещена промышленная деятельность и фиксируются наиболее благоприятные показатели экологической среды. При выборе «эталонной» территории учитывалась удаленность от промышленных объектов и автодорог.

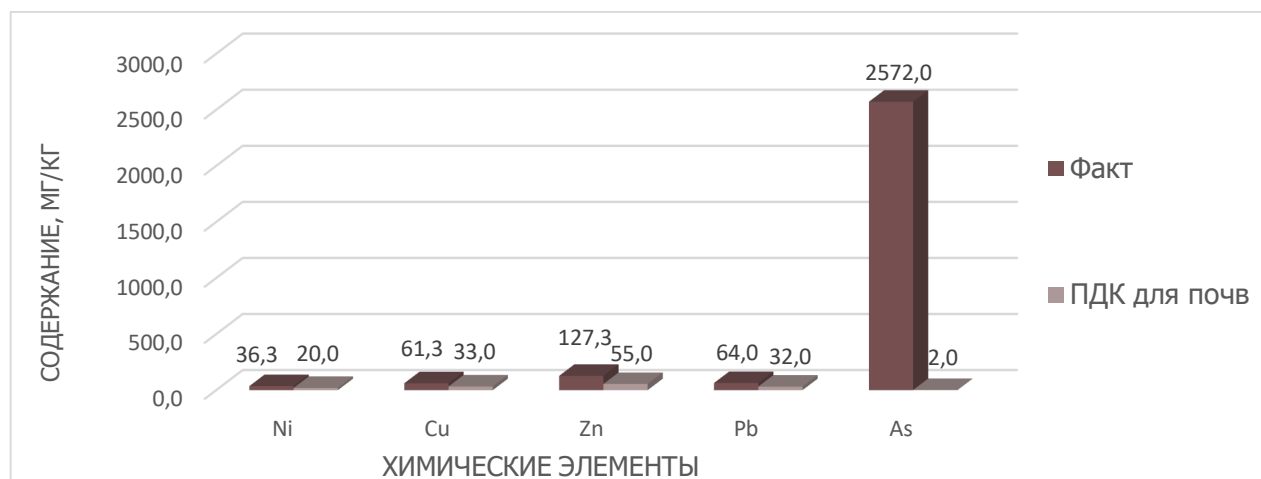


Рисунок 3. 11. Сравнительная диаграмма усредненных фактических содержаний химических элементов в техногенном сырье относительно ПДК для почв

Согласно разработанной методике, проводилась сравнительная оценка содержаний химических элементов в тканях растений и животных, отобранных с техногенных образований и «эталонного» объекта. Расположение объектов представлено на карте (рис. 3.12).



Рисунок 3. 12. Фрагмент топографической карты с отмеченными объектами исследования

Результаты исследования содержания вредных компонентов в тканях растений, отобранных на поверхности техногенных образований, представлены в таблицах 3.19–3.21. В целом сравнительный анализ концентраций токсичных элементов в растительных пробах с эфельных отвалов № 1 и № 2 и с территории Варламовского бора подтвердил негативное влияние техногенных минеральных образований на растительный покров. В таблице 3.19 систематизированы средние значения концентраций токсичных элементов в тканях растений, отобранных с поверхности всех исследуемых объектов: эфельных отвалов № 1 и № 2 и Варламовского бора.

Таблица 3.19. Результаты химического анализа растительных проб (отвал № 1)

Объект исследования	№ пробы	Вид растения	Содержание химических элементов (мкг/г)					
			As	Cu	Hg	Ni	Se	Zn
Эфельный отвал № 1	255	осока	30,13	5,26	0,04	0,91	0,32	32,08
	256	ковыль	33,29	6,08	0,03	1,23	0,3	25,63
	257	зонтичные	32,18	12,12	0,07	1,96	0,83	62,21
	258	сосна	21,03	3,87	0,02	1,06	0,56	30,87
	259	осока	39,58	5,33	0,03	0,71	0,49	53,31
	260	зонтичные	25,8	8,69	0,04	1,27	0,73	51,92
	261	осока	24,16	4,7	0,04	0,45	0,6	23,15
	262	осока	23,94	5,22	0,05	0,55	0,84	19,86
	263	зонтичные	27,42	8,33	0,03	2,44	0,34	47,63
	264	зонтичные	35,26	6,96	0,08	1,18	0,53	108
	265	осока	24,5	7,3	0,03	0,51	0,45	28,61
	266	зонтичные	21,93	4,89	0,05	2,04	0,31	90,28
	267	осока	15,55	3,83	0,02	0,58	0,1	15,21
	<b>Среднее значение по каждому из видов (мкг/г)</b>							
		осока		26,31	5,27	0,04	0,62	0,47
	ковыль		33,29	6,08	0,03	1,23	0,30	25,63
	зонтичные		28,52	8,20	0,05	1,78	0,55	72,01
	сосна		21,03	3,87	0,02	1,06	0,56	30,87

Таблица 3.20. Результаты химического анализа растительных проб (отвал № 2)

Объект исследования	№ пробы	Вид растения	Содержание химических элементов (мкг/г)						
			As	Cu	Hg	Ni	Se	Zn	
Эфельный отвал № 2	268	осока	13,62	2,49	0,15	0,77	0,29	23,68	
	269	зонтичные	32,91	5,37	0,14	2,39	0,74	144	
	270	облепиха	19,68	7,88	0,07	6,65	0,32	16,24	
	271	осока	6,25	4,24	0,02	1,44	0,12	24,3	
	272	зонтичные	23,16	5,34	0,1	7,39	0,4	95,57	
	273	осока	31,4	4,05	0,14	1,62	0,45	26,67	
	274	зонтичные	21,47	4,48	0,09	1,73	0,48	33,37	
	275	осока	26,46	3,43	0,09	1,27	0,46	22,66	
	276	зонтичные	28,92	3,67	0,1	1,78	0,49	30,36	
	277	осока	36,47	4,31	0,06	3,01	0,4	31,71	
	278	зонтичные	21,18	5,13	0,1	2,77	0,24	66,85	
	279	осока	22,87	4,66	0,03	1,65	0,45	25,36	
	280	береза	21,18	4,89	0,05	9,35	0,47	243	
	281	осока	15,45	3,28	0,06	1,86	0,45	26,94	
	282	зонтичные	19,11	3,97	0,12	1,19	0,4	41,15	
	283	осока	17,22	3,46	0,04	1,36	0,32	29,8	
	284	зонтичные	29,85	5,62	0,11	2,36	0,41	84,94	
	<b>Среднее значение по каждому из видов (мкг/г)</b>								
	осока			21,22	3,74	0,07	1,62	0,37	26,39
	зонтичные			25,23	4,80	0,11	2,80	0,45	70,89
береза			21,18	4,89	0,05	9,35	0,47	243,00	

Таблица 3.21. Результаты химического анализа растительных проб с эталонной территории Варламовского бора (точка отбора у р. Кабанка)

Объект исследования	№ пробы	Вид растения	Содержание химических элементов (мкг/г)					
			As	Cu	Hg	Ni	Se	Zn
Варламовский бор	291	ковыль	1,75	3,53	0,007	0,312	0,016	12,38
	292	осока	3,46	4,94	0,021	0,64	0,053	53,81
	293	зонтичные	0,75	7,08	0,002	1,94	0,011	34,17
	294	береза	0,934	9,58	0,011	2,56	0,024	88,24
	295	сосна	0,886	5,63	0,037	0,805	0,023	59

Таблица 3.22. Систематизация полученных результатов по золотосодержащим техногенным образованиям

Вид растения	Хим. элементы	Содержание химических элементов, мкг/г		
		Эфельный отвал №1	Эфельный отвал №2	Варламовский бор
Осока	As	26,31	21,22	3,46
	Cu	5,27	3,74	4,94
	Hg	0,04	0,07	0,021
	Ni	0,62	1,62	0,64
	Se	0,47	0,37	0,053

Вид растения	Хим. элементы	Содержание химических элементов, мкг/г		
		Эфельный отвал №1	Эфельный отвал №2	Варламовский бор
	Zn	28,70	26,39	53,81
Ковыль	As	33,29	-	1,75
	Cu	6,08	-	3,53
	Hg	0,03	-	0,007
	Ni	1,23	-	0,312
	Se	0,30	-	0,016
	Zn	25,63	-	12,38
Зонтичные	As	28,52	25,23	0,75
	Cu	8,20	4,80	7,08
	Hg	0,05	0,11	0,002
	Ni	1,78	2,80	1,94
	Se	0,55	0,45	0,011
	Zn	72,01	70,89	34,17
Сосна	As	21,03	-	0,886
	Cu	3,87	-	5,63
	Hg	0,02	-	0,037
	Ni	1,06	-	0,805
	Se	0,56	-	0,023
	Zn	30,87	-	59
Береза	As	-	21,18	0,934
	Cu	-	4,89	9,58
	Hg	-	0,05	0,011
	Ni	-	9,35	2,56
	Se	-	0,47	0,024
	Zn	-	243,00	88,24

Особо следует отметить высокие концентрации As, Hg и Se в тканях растений, отобранных на эфельных отвалах № 1 и № 2. В среднем, концентрация As в тканях осоки с эфельных отвалов относительно результатов, полученных при исследовании проб, отобранных с поверхности Варламовского бора, выше в 8 раз; в тканях ковыля – в 16,5 раз; в тканях зонтичных растений – в 26 раз; в тканях сосны и березы в – 21 раз. Содержание Hg в тканях осоки с эфельных отвалов выше эталонного объекта в 3 раза, в тканях ковыля – в 4 раза; в тканях зонтичных растений – в 35 раз; в тканях березы – в 5 раз. Среднее значение концентрации Se в тканях осоки с эфельных отвалов выше в 7,5 раз, в тканях ковыля – в 18,7 раз; в тканях зонтичных растений – в 50 раз; в тканях сосны и березы в 24 и 19,5 раз, соответственно.

Таким образом, продолжительное накопление отходов недропользования сопряжено с рисками возникновения негативных последствий.

Риск продолжения эксплуатации Сибайского хвостохранилища очевиден несмотря на то, что его не удалось оценить в связи с закрытием недропользователем этого техногенного объекта для исследований экологического воздействия на окружающую среду.

Однако, даже визуальная оценка техногенных образований, сформированных при освоении Сибайского месторождения, свидетельствует о весьма печальной картине – территория всех техногенных образований – отвалов, складов некондиционных руд, пиритного концентрата, хвостохранилищ, выработанного пространства Сибайского карьера представляет собой мертвую зону, несовместимую с условиями жизнедеятельности всего живого. На занятой техногенными объектами территории благодатного края Башкортостана не растет трава, деревья, не прорастает иная растительность, не живут представители животного мира. Даже дождевого червя в период дождей найти не удалось. Поэтому оценить воздействие миграции тяжелых металлов и иных элементов в окружающую среду не удалось, хотя плачевное ее состояние очевидно и оно требует принятия скорейших решений по ликвидации зоны экологического бедствия.

Более благоприятная обстановка на территории, занятой техногенными объектами, сформированными при отработке Тырныаузского месторождения в высокогорье Кабардино-Балкарии. Схема расположения месторождения в Приэльбрусье и хвостохранилищ показана на рисунке 3.13.

Следует отметить, что хвостохранилище № 1 было смыто селевыми потоками во время крупномасштабной природной катастрофы в 2001 году. Это хвостохранилище было расположено непосредственно вблизи месторождения в черте города Тырныауз. Запасы хранящихся хвостов переработки руд были вынесены в нижерасположенное Баксанское ущелье и одноименную реку. Хвостохранилище № 3 было рекультивировано с формированием надежного гидроизоляционного покрытия и последующего естественного затопления природными водами. В настоящее время в сформированном водоёме водятся окунь, форель, что указывает на экологически чистую среду.

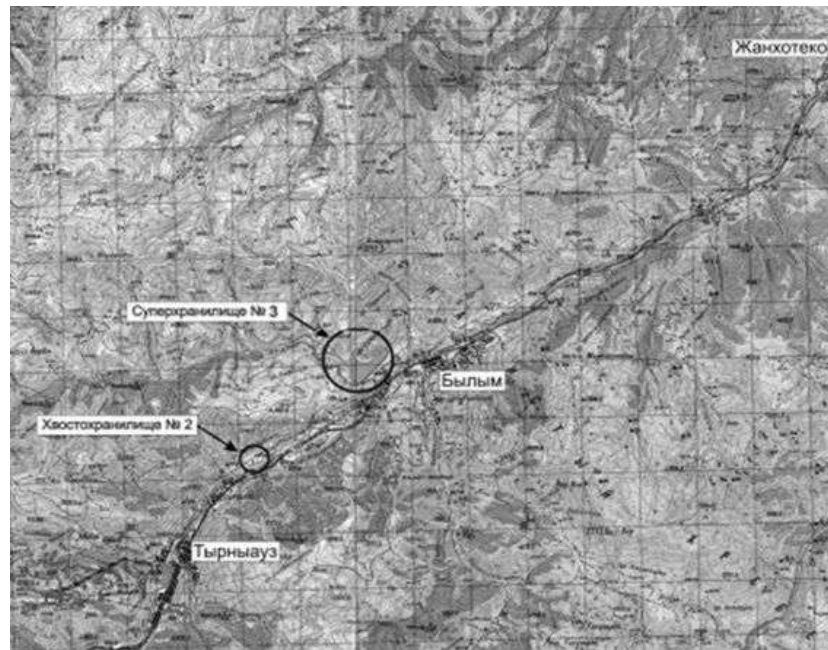


Рисунок 3. 13. Местоположение хвостохранилища №2 и хвостохранилища № 3 Тырныаузского месторождения на топографической карте [10, 45, 91]

На территории бывшего хвостохранилища № 3 организована зона отдыха, излюбленное место для горожан и туристов.

Хвостохранилище № 2 с объемами отходов переработки вольфрамомолибденовых руд, оцененных в 26 млн т, расположено в непосредственной близости от г. Тырныауз и выше р. Баксан.

Расположение хвостохранилища в высокогорье, в сейсмически активном селеопасном регионе обуславливает повышенные риски потерь техногенного сырья и загрязнения им близлежащих природоохранных территорий Приэльбрусья.

Риск возможного повторного схода селевых потоков весьма высокий. Для того, чтобы избежать проявления этих рисков, необходимо принять в ближайшее время меры по вовлечению техногенного сырья, хранящегося в хвостохранилище № 2, в промышленную эксплуатацию в соответствии с представленными в разделе 3.3. настоящей диссертации технологическими решениями.

Таким образом, природные риски длительной эксплуатации техногенных образований, представленных отходами переработки руд, связан с развитием природных процессов – землетрясениями, движением селевых потоков, затопления, промерзания территорий в результате изменения климатических условий.

Риск потери качества складированных отходов недропользования обусловлен сроком накопления и химической активностью полезных компонентов и вме-



щающих пород. При этом, в силу высокой пористости и коэффициента фильтрации техногенного образования, процесс миграции элементов и их преобразования в теле массива хвостохранилища в значительной степени превосходят скорость аналогичных процессов, происходящих в недрах. Именно этим обуславливается вынос различных элементов с поверхностными и атмосферными водами в нижние слои техногенного образования, а со временем и за его пределы в окружающую среду, что приводит к распространению не только в гидросферу, почву и атмосферу, но и в растительный, и далее в животный мир.

Группа экономических рисков обусловлена, в первую очередь, возможностью потери полезных компонентов в течение периода складирования отходов недропользования. При этом экономические потери связаны не только с невозможностью получения готовой продукции из техногенных объемов, но и затратами на технологию, связанными с формированием техногенного образования.

Группа экологических рисков обусловлена вероятностью распространения различных элементов в окружающую среду, в том числе и при обеспечении полного перечня мероприятий по охране техногенного объекта.

Группа технологических рисков обусловлена изменением вещественного состава и свойств, складированных отходов недропользования в силу отсутствия технологии опробования техногенных образований на всю его мощность и по всей территории. В связи с этим, требуется поиск индивидуальных технологических решений не только для геологического изучения складированных отходов недропользования, но и их переработки.

Группа социальных рисков обусловлена совокупностью групп экономических и экологических рисков. С одной стороны, негативное влияние техногенных образований на окружающую среду вызывает с позиции общества требования к скорейшему решению вопроса по ликвидации источника негативного воздействия, что в большинстве случаев обеспечивается его консервацией. С другой стороны, отказ от вовлечения в переработку техногенных образований в условиях полного истощения балансовых запасов месторождений, являющихся сырьевой базой градообразующих предприятий может привести к частичной или полной стагнации территории присутствия данного горнодобывающего предприятия.

Таким образом, продолжительное складирование отходов обогащения явля-

ется весьма неблагоприятным фактом и требует своевременности рассмотрения техногенных образований для обоснования возможных вариантов использования техногенного сырья в различных отраслях промышленности. В данном случае своевременность должна быть оценена рядом факторов, в числе которых:

– характер преобразования минеральной составляющей хвостов обогащения (преобразования, обуславливающие раскрытие упорных минеральных форм с высвобождением ценных компонентов, наоборот, свидетельствуют о полезном эффекте продолжительного складирования, однако это является благоприятным фактором только в случае обеспечения контроля за преобразованием и обеспечением необходимых условий, которые для этого необходимы);

– экологическая нагрузка на горнопромышленный регион;

– возможности разработки технико-технологических решений с учетом уровня технологического прогресса.

### **3. 5. Разработка алгоритма выбора технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования**

Повышение полноты и комплексности освоения рудных месторождений обеспечивается рациональным выбором геотехнологии подготовки и вовлечения в переработку сырья техногенных образований с разработкой технологических схем формирования техногенных массивов и емкостей с заданными потребительскими свойствами. Эти исследования должны быть направлены на повышение эффективности управления отходами недропользования и ликвидации огромных накоплений отходов на территории России. При этом объемы накопленных и вновь образующихся отходов, а также перспективы реализации вновь разработанных технологических схем переработки техногенного минерального сырья [53, 91] определяют перспективные варианты выбора геотехнологии и технологические решения по эксплуатации техногенных образований.

Наличие в непосредственной близости от накопленных техногенных образований техногенных емкостей, даже не специально сформированных с учетом возможности размещения в них продуктов переработки техногенного сырья, является значимым положительным фактором, влияющим на эффективность комплексного управления отходами недропользования. Это позволяет рассматривать тех-

ногенную емкость не только как место конечного размещения продуктов переработки техногенного сырья, но и по примеру размещения отходов Томинского ГОКа в Коркинском разрезе [31, 33], при соответствующей подготовке для последующей добычи и переработки, в том числе для извлечения ценных компонентов физико-химическими или иными геотехнологиями.

Реализация физико-химической геотехнологии возможна при соответствующих физико-механических и технологических характеристиках сырья техногенных образований. Это, в свою очередь, требует поиска и применения инновационных технологических решений для изучения сырья техногенных образований. Наибольшая эффективность применения данных геотехнологий достигается при целенаправленной добыче и переработке сырья, в соответствии с требуемыми параметрами технологической схемы переработки.

Вариант возможности включения техногенных образований в существующую технологическую схему переработки минерального сырья на горнодобывающем предприятии представляется организационно простым и экономически предпочтительным способом реализации технологических решений. Однако, при этом необходимо определить требуемые в соответствии с принятыми решениями по полезному использованию техногенного сырья с обоснованием параметров его добычи и переработки и обеспечить увязку объемов, накопленных в техногенных образованиях и вовлекаемых в эксплуатацию отходов, и темпами разработки балансовых запасов базовых месторождений. Это необходимо сделать для принятия решения по комплексному освоению всех объемов природного и техногенного сырья. В случае невозможности переработки всего объема техногенного сырья на момент полной отработки балансовых запасов, оставшаяся масса техногенного минерального сырья может оказаться нерентабельной для последующего использования. Поэтому необходимо регулировать объемы вовлечения в эксплуатацию природного и техногенного сырья и разрабатывать технологические решения по вовлечению в эксплуатацию отходов недропользования.

С целью выбора технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования при комплексной эксплуатации горнотехнической системы разработан алгоритм, использование которого на этапе проектирования ввода месторождения в эксплуатацию или реконструкции горнотехнической системы

позволяется 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 сопутствующего техногенного образования при повышении объема потоков готовой товарной продукции и совокупного дохода горнодобывающего предприятия от реализации дополнительных видов производственно-хозяйственной деятельности.

Разработанный алгоритм выбора технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования представлен на рисунке 3.15.

Для реализации представленных на рисунке 3.15 принимаемых технологических решений по вовлечению в эксплуатацию техногенного образования в зависимости от фактического состояния горнотехнической системы и состояния техногенных объектов, необходимо обеспечить сбор и анализ исходных данных о фактическом состоянии горных работ, параметрах всей горнотехнической системы, нормативно-правовой базы по управлению отходами недропользования на момент составления технического проекта разработки месторождения, технологических схем и состояния производственных мощностей перерабатывающего передела, а также результаты определения физико-механических характеристик и технологических свойств техногенного сырья.

Для этого следует провести:

1. Анализ фактического состояния горных работ, параметров горнотехнических сооружений;
2. Анализ минерально-сырьевой базы и техногенных образований;
3. Анализ нормативно-правовой базы по управлению отходами недропользования на момент составления технического проекта разработки месторождения;
4. Анализ технологических схем и состояния производственных мощностей перерабатывающего передела;
5. Определение физико-механических характеристик и технологических свойств техногенных образований.

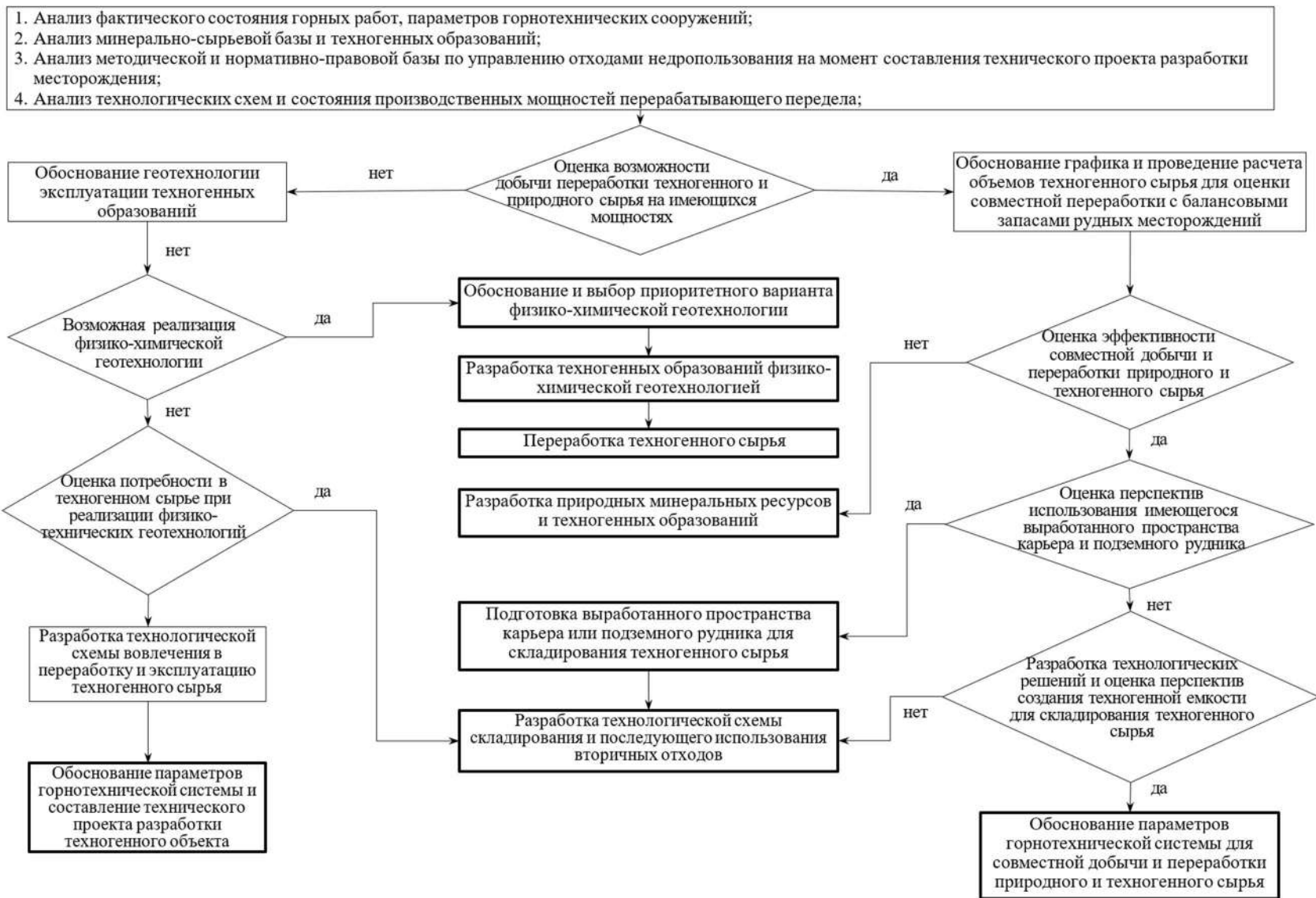


Рисунок 3. 14. Алгоритм принятия технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования

На основе выполненного анализа следует разработать технологические решения по совместной добыче и переработке природного и техногенного минерального сырья. Для этого необходимо провести лабораторные, опытно-промышленные и полупромышленные исследования и испытания различных геотехнологий, обеспечивающих повышение комплексности освоения минерального сырья месторождений с получением дополнительной товарной продукции с достижением требуемых технологических и технико-экономических показателей реализации геотехнологий при комплексном освоении рудных месторождений.

После этого должна быть разработана технологическая схема гидроизоляции основания промышленной площадки и доизвлечения ценных компонентов, получения иной товарной продукции при реализации физико-химической геотехнологии.

Необходимо обосновать объемы вовлечения техногенного сырья, увязанные режимом развития горных работ на базовом месторождении при попутной разработке техногенных образований совместно с запасами базового месторождения.

Следует оценить наличие и объемы сформированных вторичных выработанных пространств. При их наличии, для использования в качестве места складирования продуктов переработки техногенного сырья, либо предусмотреть иную возможность их промышленного использования. Для этого необходимо заблаговременно провести подготовку техногенных емкостей для экологически безопасной реализации выбранных технологических решений.

Затем следует обосновать рациональные параметры горнотехнической системы и составить технико-экономическое обоснование эксплуатации техногенного образования. После расчета технико-экономической эффективности технологических решений разрабатывается технический проект на разработку техногенного сырья предпочтительно в комплексе с базовыми рудными месторождениями.

Расчет технико-экономических показателей и перспектив получения дополнительного совокупного дохода горнотехнической системы по критерию экологической сбалансированности и экономической эффективности рассматриваемых технологических решений следует проводить согласно разработанной методике, представленной ниже по тексту.

При выборе технологической схемы вовлечения в эксплуатацию накоплен-

ных техногенных образований и формируемого в текущем времени техногенного сырья необходимо ориентироваться на результаты экспериментальных исследований технологических процессов. Ниже представлена методика оценки экономической эффективности альтернативных вариантов технологических схем добычи и переработки техногенного сырья с определением суммарного дохода от совместного освоения природного месторождения и техногенных образований в едином технологическом цикле.

Для заданных горно-геологических условий, с учетом применяемого горного оборудования, конъюнктуры рынка, нормативов экологических платежей по каждому намеченному к сравнению варианту освоения месторождения необходимо рассчитывать ежегодные капитальные вложения, эксплуатационную себестоимость, экологические налоги и оценивать годовой доход, полученный от освоения месторождения открытым, открыто-подземным и подземным способами при изменяющейся глубине работ. Суммированием годовых доходов за вычетом ущерба от потерь и разубоживания руды и экологических платежей подсчитывается совокупный доход от освоения месторождения по принятому в проектных решениях варианту.

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 – 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.

$$D_t = \sum_m D_{1tm} + \sum_n D_{2tn} + D_{3t} + D_{4t}, \quad (3.1.)$$

Годовой доход горного предприятия при разработке базового рудного месторождения в текущем  $t$ -ом году от реализации  $m$  видов товарного продукта  $D_{1tm}$  и при вовлечении в эксплуатацию техногенных образований  $D_{2t}$  с производством  $n$  видов товарной продукции рассчитывается по следующим формулам:

$$D_{1tm} = \sum_m B_{tm} - \mathbb{Q}_t + \mathbb{Q}_t - \mathcal{E}_t - \mathbb{Q}_t \quad (3.2.)$$

$$D_{2tn} = \sum_m B_{tn} - \mathcal{E}_{2t} + \mathbb{Q}_t \quad (3.3.)$$

где  $B_{tm}$  и  $B_{tn}$  – годовая выручка от реализации в  $t$ -ом году  $m$  и  $n$  видов товарной продукции, получаемой, соответственно, от разработки рудного месторождения и эксплуатации сопутствующих техногенных образований, де  $\mathbb{Q}_t$  – капитальные затраты в  $t$ -ом году, руб.;  $\mathbb{Q}_t$  – амортизация в  $t$ -м году, руб.;  $\mathcal{E}_t$  – эксплуатационные затраты без амортизационных отчислений в  $t$ -м году, руб.;  $\mathbb{Q}_t$  – налоги с деятельности предприятия в  $t$ -м году, руб.

Заметим, что капитальные затраты, амортизационные отчисления, налоги с деятельности предприятия, как правило, рассчитываются в целом по предприятию, поэтому они вычитаются с выручки от основной деятельности.

Выручка от реализации продукции, полученной от основной деятельности при разработке месторождения, млн руб.

$$B_{tm} = \mathbb{Q}_t \left( \frac{1-\Pi}{1-R} \right) \mathbb{Q}_{cp} \mathbb{Q}_{cp} \mathbb{C}_{cp} K_{\$} \quad (3.4.)$$

где  $\mathbb{Q}_t$  – годовая производительность рудника по добыче руды,  $m$ ;  $\Pi$  и  $\mathbb{Q}$  – соответственно потери и разубоживание, определяемые системой и способом разработки и не зависящие от текущего года разработки;  $\mathbb{Q}_{cp}$  – среднее содержание полезных компонентов, приведенное к условному содержанию основного компонента и зависящее от налогов с деятельности предприятия;  $\mathbb{Q}_{cp}$  – среднее извлечение полезных ископаемых при обогащении;  $\mathbb{C}_{cp}$  – средняя цена полезного ископаемого, у.е.;  $K_{\$}$  – курс 1 валюты, по которой производится реализация товарной продукции.

Суммарные капитальные затраты также рассчитываются по годам на строительство и эксплуатацию и оцениваются, млн руб.:

$$\mathbb{Q}_t = \sum_t K_t^{np} + K_t^{ctp} + K_t^z + K_t^a \quad (3.5.)$$



где  $K_t^{пр}$  – затраты на проектирование, руб.;  $K_t^{стр}$  – затраты на строительство, руб.;  $K_t^з$  – затраты на покрытие ущерба от изъятия земель, руб.;  $K_t^а$  – единовременный арендный взнос за право пользования недрами, руб.

$$K_t^{пр} = Ц_t^б * K_{уд} \quad (3.5.)$$

где  $Ц_t^б$  – базовая цена проектных работ, руб;  $K_{уд}$  – коэффициент удорожания стоимости проектных работ.

Базовая цена проектных работ определяется нормативной стоимостью разработки проектной документации, а также коэффициентами, учитывающими: стадию проектирования и состав проекта ( $K_1$ ), категорию сложности проектирования горных предприятий ( $K_2$ ).

Капитальные затраты включают затраты на горно-капитальные работы, строительство зданий и сооружений, приобретение оборудования.

Годовые амортизационные  $\mathbb{E}_t$  отчисления так же, как и капитальные затраты рассчитываются пообъектно по годам эксплуатации природных и техногенных образований.

Эксплуатационные расходы с учетом экологических платежей при различных технологических схемах освоения рудных месторождений и техногенных образований по годам разработки, млн руб.:

$$\mathbb{E}_{t1} = C_{t1g} + C_{t10} + \mathbb{E}_t, \quad (3.6.)$$

$$\mathbb{E}_{t2} = C_{t2g} + C_{t20} \pm \mathbb{E}_t$$

где  $C_{t1g}$  и  $C_{t2g}$  – соответственно, годовые расходы на добычу и транспортирование рудного природного и техногенного сырья;  $\mathbb{E}_t$  – экологические отчисления или их возврат за счет снижения экологической нагрузки при разработке техногенных образований, млн руб.

Налогообложение при освоении месторождения рассчитывается:

$$H_t = \mathbb{E}_t * П_{tm} * \mathbb{E}_0 + \mathbb{E}_t * H_m * \mathbb{E}_{срм} * \mathbb{E}_{срм} \quad (3.7.)$$

где  $П_{tm}$  – размер ставки за право добычи, зависящий от вида добываемого сырья, руб./т;  $\mathbb{E}_0$  – коэффициент освоения проектной мощности;  $H_m$  – размер ставки за добычу полезных ископаемых по их видам, руб./т.

Для крупных технологических решений с неравномерным распределением затрат и доходов во времени (а оценка именно таких решений является наиболее актуальной при разработке ценных и крутопадающих месторождений) наиболее приемлемым, в условиях рынка, экономическим критерием сравнительной оценки эффективности является внутренняя норма доходности, определяемая решением уравнения:

$$\sum_{t=1}^T \frac{R_t - Z_t^+}{(1 + E_{\text{ВНД}})^{t-1}} = \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1 + E_{\text{ВНД}})^{t-1}}, \quad (3.8.)$$

где  $E_{\text{ВНД}}$  – внутренняя норма доходности, долей ед.

При выборе предпочтительной модели освоения запасов и технологической схемы разработки переходной зоны, в случае сопоставимости результатов внутренней нормы доходности по сравниваемым вариантам в качестве дополнительных критериев следует учитывать чистый доход от освоения месторождения (руб.):

$$\sum_t \frac{B_{tm} - \Delta_{tm}}{(1 + E_{\text{ВД}})^{t-1}} * \sum_t \frac{B_{tn} - \Delta_{tn}}{(1 + E_{\text{ВНД}})^{t-1}} = \sum_t \frac{K_t}{(1 + E_{\text{ВНД}})^{t-1}} \quad (3.9.)$$

Чистый дисконтированный доход (руб.):

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1 + E)^{t-1}}, \quad (3.10.)$$

где  $E$  – ставка дисконтирования, долей ед.

Индекс доходности, %,

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t^+) \frac{1}{(1 + E)^{t-1}}. \quad (3.11.)$$

Недостатками показателя «внутренняя норма доходности» (ВНД) являются сложность решения уравнения (3.8), а также появление иррациональных значений при отрицательном подкоренном выражении. Решение данных вопросов возможно при помощи пункта «Поиск решения» в электронной таблице. Экономико-математическая модель, разработанная на основе заданных горно-геологических условий месторождения, конъюнктуры рынка, технических возможностей оборудования, нормативов экологических платежей, позволяет:

– рассчитать величину капитальных и эксплуатационных затрат, экологиче-

ские налоги при различных технологиях;

– оценить ежегодный доход, полученный от освоения месторождения открытым, открыто-подземным и подземным способами при изменяющейся глубине разработки;

– по максимуму внутренней нормы доходности выбрать предпочтительный вариант.

Существует мнение, что риск необходимо идентифицировать и исключать. Однако, как показывает практика, его необходимо выявлять, оценивать и управлять им, чтобы выбранная технологическая схема приносила наибольший эффект.

Под риском следует понимать возможность возникновения как неблагоприятного, так и благоприятного события, в результате которого предприятие может получить соответственно либо ущерб, либо прибыль. Количественной мерой риска является вероятность наступления благоприятного события и связанная с этим экономическая выгода, а также вероятность возникновения неблагоприятного события и связанный с этим неизбежный экономический ущерб. В качестве критерия оценки представляется целесообразным использовать критерий Гуд:

$$\left\{ \begin{array}{l} O = P_{\text{инт}}^{\text{общ}} \Pi_i - (1 - P_{\text{инт}}^{\text{общ}}) U_i \rightarrow \max ; \\ P_{\text{инт}}^{\text{общ}} = K_{\text{знач}}^{\text{геол}} p_{\text{да}}^{\text{геол}} K_{\text{знач}}^{\text{пол}} p_{\text{да}}^{\text{пол}} K_{\text{знач}}^{\text{экон}} p_{\text{да}}^{\text{экон}} ; \\ 0 < K_{\text{знач}}^j < 1 ; \\ 0 < p_{\text{да}}^j < 1 , \end{array} \right. \quad (3.12.)$$

где  $O$  – общий риск;  $P_{\text{инт}}^{\text{общ}}$  – интегральная оценка вероятности благоприятных событий по всем общим факторам;  $p_{\text{да}}^j$  – вероятность благоприятного исхода по  $j$ -му общему фактору (горно-геологическому, политическому, экономическому),  $K_{\text{знач}}^j$  – коэффициент значимости влияния  $j$ -го общего фактора риска (горно-геологического  $K_{\text{знач}}^{\text{геол}}$ , политического  $K_{\text{знач}}^{\text{пол}}$ , экономического  $K_{\text{знач}}^{\text{экон}}$ );  $\Pi_i, U_i$  – дисконтированный доход от благоприятного или ущерб от неблагоприятного исхода реализации  $i$ -й технологической схемы комбинированной геотехнологии, которые

рассчитываются по формуле (3.13). Значения  $p_{\text{да}}^j$  и  $K_{\text{знач}}^j$  определяются экспертным путем. Наиболее правильным будет решение о выборе технологической схемы открыто-подземного способа разработки на основании совокупности приведенных выше показателей экономической эффективности, однако предпочтение следует отдавать интегральному эффекту проекта, рассчитываемому по формуле чистой сравнительной дисконтированной прибыли:

$$\begin{aligned} \Pi_i = & \sum_{t=1}^T (R_{it} - Z_{it} - M_{it}) \frac{100 - n^{\text{п}}}{100(1 + e_{\text{д}})} - \\ & - \sum_{t=1}^T (K_{it} - A_{it} - M_{it} + D_{it} + Y_{it}) \frac{1}{(1 + e_{\text{д}})^t} - Z_{\text{кт}}, \end{aligned} \quad (3.13.)$$

где  $i$  – порядковый номер рассматриваемого варианта;  $t$  – текущий год осуществления затрат;  $T$  – период отработки прикарьерных запасов, лет;  $R_{it}$  – результат производственно-хозяйственной деятельности в  $t$ -м году по  $i$ -му варианту, руб.;  $Z_{it}$  – годовые затраты на осуществление производственно-хозяйственной деятельности, руб.;  $M_{it}$  – величина дохода, не подлежащая налогообложению по прибыли (льгота по прибыли), руб.;  $n^{\text{п}}$  – ставка налога на прибыль, руб.;  $e_{\text{д}}$  – норма дисконта;  $K_{it}$  – капитальные затраты по  $i$ -му варианту в  $t$ -м году, руб.;  $A_{it}$  – сумма годовых амортизационных отчислений, руб.;  $D_{it}$  – сумма годовых дивидендов, отчисляемых учредителям, руб.;  $Y_{it}$  – стоимость возможного ущерба, приносимого разработкой прикарьерных запасов, руб.;  $Z_{\text{кт}}$  – затраты на поиски и освоение на компенсирующем предприятии потерянной в недрах руды, руб.

Таким образом, разрабатываемый технический проект на отработку техногенного сырья предпочтительно в комплексе с базовыми рудными месторождениями.

Таким образом, разработанный алгоритм и методика выбора технико-технологических решений по управлению металлосодержащими отходами недропользования позволяют обеспечить методическую базу для эффективной отработки природных минеральных ресурсов в комплексе с техногенными образованиями с обеспечением экологически сбалансированного использования сырья и формированием благоприятного ландшафта техногенно нарушенных территорий, адаптированных к природной среде горнодобывающего региона.

### Выводы по главе 3

Проведенными исследованиями определено, что:

1. Техногенное 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, а достаточно высокое содержание ценных компонентов обуславливает перспективу эффективного промышленного использования техногенного сырья. Это требует изучения минеральных ассоциаций лежалых ранее заскладированных в хранилища отходов горно-обогатительного производства. При этом важно понимать, что закономерности преобразования рудных минералов должны и могут быть учтены при выборе технологических схем их складирования и хранения для последующего использования. Для этого необходимо развитие исследований по целенаправленному формированию техногенных образований с доведением технологических свойств техногенного сырья до необходимых характеристик путем интенсификации окислительных процессов;

2. Определено, что в составе техногенного сырья из отходов обогащения медно-колчеданных руд содержатся высокие содержания благородных металлов, в связи с чем такие техногенные образования следует рассматривать в качестве дополнительных источников минерального сырья и поиска технологий, направленных на доизвлечение ценных компонентов. Однако важно учитывать установленный характер преобразования и распределения ценных компонентов в массиве хвостохранилищ с последующим выделением обогащенных зон с верхней части хвостохранилища со стороны расположенного выше по рельефу склада пиритного концентрата, а также в нижнем слое хвостохранилища, где произошло осаждение тяжелых благородных. Целесообразно также проработать технологии извлечения в едином технологическом цикле редких металлов и редкоземельных элементов, содержащихся в хвостах с большей концентрацией, но сравнимых с рудами базового месторождения. Важно понимать, что необходима количественная оценка содержаний в таких объектах сульфидных минеральных ассоциаций, поскольку именно этот фактор является одним из влияющих на скорость и характер их окисления в

массиве хвостохранилища, что необходимо изучать для выбора рациональной схемы переработки техногенного сырья с учетом характера его преобразования;

3. Исследование перспектив использования вторичных обходов выщелачивания для подготовки рекультивационного материала показало техническую возможность их эффективного ввода 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;

4. Техногенное сырье из золотосодержащих лежалых отходов должно быть и может быть эффективно переработано с рудами близлежащих месторождений в едином технологическом цикле. Хвосты обогащения руд Новотроицкого месторождения, уложенные в Новотроицком хвостохранилище, освободились в ходе природного выщелачивания от вредных примесей мышьяка, что обуславливает перспективы возможного извлечения из них благородных металлов в объединённой технологической схеме, совместно с переработкой руд осваиваемого в настоящее время Кочкарского золоторудного месторождения;

5. На основе выполненного анализа техногенного сырья, сформированного из отходов переработки золотосодержащих руд, определено, что необходимо производить оценку содержания токсичных элементов, что обусловлено методами выщелачивания и амальгамации, которые подразумевали использование ртути или иных вредных компонентов. Стоит отметить, что незначительные преобразования вещественного состава техногенного золотосодержащего сырья, заключающиеся лишь в миграции ценных компонентов, позволили сделать вывод о том, что такое техногенное сырье может быть использовано для доизвлечения золота на действующих золотоизвлекательных фабриках;

6. Техногенное сырье из отходов вольфрамо-молибденовых руд Тырныаузского месторождения не может быть рассмотрено для извлечения ценных компонентов, но его следует рассматривать для полезного использования в закладке выработанного пространства при доработке базового рудного месторождения и в иных строительных целях;

7. Результаты исследования состава хвостов обогащения вольфрамо-

молибденовых руд из Тырнаузского хвостохранилища показали, что такой тип техногенных образований может быть использован для производства низкомарочных цементов при обжиге отходов при температуре 700 °С. Низкомарочные цементы могут быть использованы в технологии закладки, строительства. Важно, что Кабардино-Балкария не имеет собственной цементной базы и остро нуждается в данном виде сырья в виде цемента и цементного клинкера;

8. Исследование физико-механических свойств техногенного сырья позволило определить устойчивость исследуемых техногенных массивов для их эксплуатации открытым способом, что позволило создать задел технологий для разработки исследуемых техногенных минеральных образований с обоснованием решений, обеспечивающих безопасное и эффективное освоение исследуемых техногенных объектов;

9. Доказано, что в сфере управления отходами недропользования необходимо уделять особое внимание сбору исходных данным, характеру преобразования вещественного состава и особенностям складирования и хранения отходов, а также экологическим и экономическим рискам продолжительного хранения техногенного сырья из различных видов отходов недропользования. Такой подход призван обеспечить вариативность приоритезации освоения техногенных минеральных объектов 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;

10. Разработан алгоритм и методика оценки экономического эффекта технологических решений по выбору приоритетного варианта по управлению металлосодержащими отходами недропользования, обеспечивающие наиболее полное и эффективное использование отходов при комплексной эксплуатации горнотехнической системы, использование которого на этапе проектирования ввода месторождения в эксплуатацию или реконструкции горнотехнической системы позволит определить перспективные направления экологически сбалансированного освоения рудных месторождений.

## **ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

### **4. 1. Предложения по совершенствованию правовой и методической базы обращения с отходами недропользования**

Совершенствование правовых основ в сфере управления отходами недропользования в России должно упростить недропользователям процесс лицензирования техногенных образований, геолого-технологического изучения, подготовки технических проектов для разработки техногенных образований, и тем самым способствовать повышению интереса к проблеме обращения с отходами недропользования, что даст возможность перейти к безотходным технологиям добычи полезных ископаемых, сократит объёмы накопленных ранее техногенных образований и обеспечит повышение уровня промышленного использования многофункциональных техногенных объектов, освободит занятые ими земли, сократит отрицательное техногенное воздействие на горнопромышленные регионы [110].

В качестве первоочередных мер по совершенствованию правовой и методической базы обращения с техногенными образованиями следует выделить:

1. Гармонизация положений федеральных законов, налогового и гражданского кодексов в части определения понятий «техногенные образования», «техногенные объекты» отделив их от «природных месторождений» минерального сырья.

Необходимо отказаться от понятия «техногенное месторождение», заменив его на «техногенное образование» или «техногенный объект» с введением требований к геологическому и минералогическому изучению, вовлечению в эксплуатацию с доизвлечением ценных компонентов и безопасной утилизацией вторичных отходов для ликвидации экологического воздействия на окружающую среду.

2. Разработка государственного механизма, способствующего вовлечению в эксплуатацию техногенных образований, включающего:

- упрощенную процедуру получения лицензий на добычу полезных компонентов из техногенных образований;
- снижение налогообложения и совместное финансирование государства и



недропользователя НИР для повышения инвестиционной привлекательности эксплуатации техногенных образований;

– предоставление льгот за пользование землями с размещенными на них техногенными образованиями, при условии принятия обязательств по реализации полного цикла НИР, ОКР и полным обезвреживанием вторичных отходов, рекультивацией нарушенных земель и восстановлением ландшафта;

– упрощение требований к геологическому изучению и оценке запасов техногенных образований при условии выполнения НИР, ОКР по выбору способа добычи (выемки минерального сырья) и технологий переработки техногенных образований;

– создание механизма строгой открытой отчетности о ходе проведения НИР, ОКР, ведения горных работ, осуществления переработки минерального сырья, рекультивации земель и восстановления ландшафта;

– расширение перечня выпускаемой продукции при вовлечении в переработку различных видов отходов, не ограничиваясь при этом отходами только горной промышленности и недропользования, что позволит повысить спрос на их использование.

3. Совершенствование механизма государственного учета накопленных и формируемых в текущем времени техногенных образований.

Результатом этой работы должно быть создание единого реестра техногенных образований накопленных и текущих отходов недропользования с полным указанием качественных и количественных характеристик минерального сырья, объемов накоплений, содержания в них ценных компонентов и вредных примесей, перспективных направлений использования в различных сферах.

4. Используя единый реестр накопленных и формируемых техногенных образований целесообразно создание отдельного реестра образований, к которым существует повышенный интерес со стороны хозяйствующих субъектов для формирования спроса на них.

5. На базе Роснедр и подведомственных организаций проведение семинаров и вебинаров по повышению квалификации сотрудников горнопромышленных предприятий в части приобретения научно-практических навыков и обмена опытом по обращению с техногенным сырьем.

Для совершенствования правовой и методической базы обращения с техно-

генными образованиями требуется внесение изменений в законодательные акты и нормативные материалы, а именно:

1. В закон «О недрах» и налоговый кодекс в части утверждения терминов «техногенные минеральные образования», «техногенные объекты» и совершенствования механизма государственного учета накопленных и формируемых в текущем времени техногенных образований.

2. В налоговый кодекс в части получения недропользователем льгот на налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ) для повышения инвестиционной привлекательности выполнения работ по переработке техногенных образований.

3. В Порядок установления факта открытия месторождений полезных ископаемых, выдачи свидетельства об установлении факта открытия месторождения полезных ископаемых и внесения изменений в свидетельство об установлении факта открытия месторождения полезных ископаемых, утвержденный приказом Минприроды России и Роснедр от 26.10.2021 № 796/19 с целью упрощения порядка и сроков получения лицензий на право пользования техногенными образованиями.

4. В Правила подготовки проектной документации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых, утвержденные приказом Минприроды России от 14 июня 2016 г. № 352. Это необходимо ввиду того, что, в отличие от природных месторождений, техногенные не характеризуются типовыми физико-химическими условиями формирования, позволяющими констатировать закономерности залегания и локализации ценных компонентов. Для них характерна высокая неоднородность распределения компонентов, обусловленная в большей степени режимом работы фабрики, способом сброса пульпы и хвостов, реагентами, используемыми для извлечения и переработки руды и т. д. Это и обуславливает иные требования к формированию геологоразведочной сети. С другой стороны, низкая ценность техногенного сырья и высокая степень достоверности знаний о ее распределении в объеме хвостохранилища сдерживает интерес и экономические расходы недропользователя в оценку техногенных образований. Поэтому здесь необходим баланс интересов и возможности заинтересованных сторон в оценке техногенных образований с гарантией последующего использования объектов при вложении ресурсов. Это предполагает разработку соответствующих правовых гарантий.

Установление закономерности разделения ценных компонентов в техногенных образованиях необходимо, в особенности, для подсчета запасов хвостохранилищ, в которых складированы отходы переработки исходных руд, которые уже претерпевали процесс переработки и с высокой долей вероятности полученный и складированный материал будет упорным для повторной переработки и характеризоваться низкими показателями извлечения. В совокупности с относительно низкими показателями содержаний полезных компонентов возникает вопрос изыскания новых технологий переработки каких-то отдельных участков хвостохранилищ. А также это требует дополнительных вложений в завершённый цикл, затраты на которые должны быть подтверждены соответствующими параметрами.

5. В Требования к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов твердых полезных ископаемых, утвержденные приказом Минприроды России от 23 мая 2011 г. № 378.

Анализируя отчеты по результатам разведки техногенных месторождений и протоколы ФБУ «ГКЗ», можно констатировать, что для геолого-экономической оценки и подсчета запасов техногенных образований могут быть использованы следующие параметры кондиций:

- бортовое содержание ценных компонентов - % (вольфрам, молибден, медь, цинк, свинец и пр.) или г/т (золото, серебро, платина);
- минимальное промышленное содержание в подсчетном блоке – % или г/т;
- минимальная мощность продуктивного горизонта, вовлекаемого в подсчёт запасов, м;
- показатель извлечения ценных компонентов, %.

Первые три показателя традиционно используются для оконтуривания и подсчёта запасов на рудных месторождениях и могут применяться на техногенных объектах, но при условии существенного сгущения сети инженерно-геологических горных выработок – чаще скважин, заверка которых апробируется валовым опробованием.

Материалы носят авторский характер и могут быть использованы для геолого-экономической оценки конкретных техногенных объектов исследования. Следует учитывать, что в отличие от природных месторождений техногенные объекты имеют определенную специфику: место локализации и пространствен-

ные границы объектов известны, сырье, прошедшее через стадию обогащения, является, как правило, упорным и трудноизвлекаемым.

6. В Правила подготовки, согласования и утверждения технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых, технических проектов строительства и эксплуатации подземных сооружений, технических проектов ликвидации и консервации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недр, по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами, утвержденные постановлением Правительства РФ от 30.11.2021 № 2127 в части подготовки отдельных технических проектов на разработку техногенных образований, либо включения их в уже существующий технический проект с целью обеспечения полноты, рациональности и комплексности пользования недр базового месторождения, а также разработки конкретных технических решений по утилизации или рециклингу отходов недропользования.

Кроме того, требуется разработать следующую нормативно-правовую базу:

– Методические рекомендации для расчета нормативов потерь полезных ископаемых при добыче, технологически связанных с принятой системой и технологией разработки техногенного образования. При разработке техногенного образования потери руды или песков при добыче возможны при оставлении слоя в почве техногенного образования и при транспортировании до места складирования.

– Стандарты горнопромышленных предприятий для управления техногенным сырьем. Стандарт должен устанавливать эффективные методы обращения с отходами, образующимися в сфере добычи и переработки полезных ископаемых.

Все перечисленные меры направлены на вовлечение в эксплуатацию отходов горнопромышленного комплекса для получения новых товарных продуктов и отходов с более низким классом опасности или полностью утилизированными отходами горнодобывающего производства.

В части принятых для исследований в диссертации объектов недропользования на основе дифференцированного подхода и с учетом результатов проводимых экспериментов определены перспективные направления использования отходов недропользования:

1. Хвосты обогащения медно-колчеданных руд, размещенные в старогоднем Сибайском хвостохранилище № 3 АО «Сибайский ГОК», целесообразно подверг-

нуть комплексной гидрометаллургической переработке с доизвлечением золота, серебра, меди, цинка, редких металлов и редкоземельных элементов. Вторичные отходы гидрометаллургии целесообразно подвергнуть обжигу для окисления сульфидов железа и подготовки железорудного сырья для развития сырьевой базы Магнитогорского металлургического комбината.

Оставшиеся после доизвлечения отходы в соответствии с результатами приведенных в диссертации исследований, могут быть использованы в качестве специального рекультивационного материала для формирования в Сибайском карьере гидроизоляционной подушки и предотвращения процессов самовозгорания сульфидных руд в бортах карьера и после его осушения.

Опыт гидрометаллургической переработки лежалых хвостов обогащения медно-колчеданных руд, размещенные в старогоднем Сибайском хвостохранилище № 3 АО «Сибайский ГОК», позволит разработать технологию переработки и очистки минерализованных растворов, скопившихся в Сибайском карьере, а также технологию переработки хвостов, находящихся в хвостохранилище № 2.

2. Тырнаузское хвостохранилище для использования лежалых хвостов после обжига в качестве вяжущего компонента в составе закладочной смеси и для производства низкомарочных цементов.

3. Хвосты обогащения, представленные в старогоднем хвостохранилище Новотроицкой фабрики ПАО «ЮГК» и отходы золотосодержащих руд Пластовского района, содержащиеся в 39 эфельных отвалах, могут быть переработаны на действующих фабриках ПАО «ЮГК» совместно с рудами близлежащих эксплуатируемых месторождений в едином технологическом цикле. Промышленное содержание золота и серебра в исследуемом техногенном сырье позволяет рассматривать их как перспективный источник получения драгоценных металлов. Вторичные отходы после обезвреживания хвостов от цианидов и ртути могут быть использованы для приготовления рекультивационных материалов.

С целью реализации выше приведенных рекомендаций планируется провести выездные совещания на АО «Сибайский ГОК» и ПАО «ЮГК» с участием представителей ФБУ «ГКЗ», ФГКУ «Росгеолэкспертиза», ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛГИЯ», ЦКР-ТПИ Роснедр, Росприроднадзора, Ростехнадзора, научных организаций РАН, проектных институтов и независимых экспертов.

Проведение совещаний специалистов различных направлений горной отрасли по вопросам дальнейшего функционирования техногенно-изменённых горнотехнических систем, сформированной в процессе эксплуатации месторождений будет способствовать сокращению сроков ввода техногенных объектов в эксплуатацию и повышению эффективности освоения месторождений. Для этого разработаны технико-технологические решения и представлены в разделах 4.2–4.4 настоящей диссертации.

#### **4. 2. Техничко-технологические рекомендации по вовлечению в эксплуатацию отходов Сибайского хвостохранилища**

Сложившаяся ситуация с затоплением Сибайского карьера и подземных горных выработок для ликвидации последствий возгорания сульфидных руд и экологической катастрофы в регионе по решению недропользователя, подтвердила необходимость и важность заблаговременного принятия решений и разработки мероприятий по контролю за состоянием недр, так как кроме наблюдения за естественным водопротоком подземных вод в карьер и фиксацией температуры воздуха и поверхности минерализованных растворов, необходим комплексный подход по оценке вариативности решений с учетом выявления максимального эффекта и обеспечения сохранения экологических показателей среды горнопромышленного региона.

В данном случае технико-технологические решения должны прорабатываться на базе исходных данных и оценки результатов динамики показателей мониторинга геомеханического, гидрологического, теплофизического состояния недр, вещественного состава руд, изменения состояния руд в процессе горения сульфидов, состояния бортов карьера и их возможных деформаций, нарушения вертикальных стволов, капитальных и подготовительных подземных горных выработок. Кроме того, сложившиеся условия затопления карьера и отсутствие результатов мониторинга, не позволяют судить о перспективах реализации проектных решений по подземной доработке запасов месторождения с переработкой руд ранее принятой технологией их флотации, что обусловлено интенсивным окислением сульфидных руд и образованием продуктивных минерализованных растворов. При комбинированной геотехнологии освоения месторождений медноколчеданных руд с комплексным использованием отходов их переработки, полу-

ченные при затоплении минерализованные растворы могут быть эффективно вовлечены в промышленную эксплуатацию для доизвлечения ценных компонентов методами гидрометаллургии. При этом образующаяся в процессе окисления и горения сульфидов серная кислота является рабочим агентом выщелачивания ценных компонентов из руд. Эти процессы должны быть дополнительно изучены в ходе лабораторных и опытно-промышленных экспериментов.

Также должны быть проведены исследования по извлечению техногенного сырья из старогоднего хвостохранилища Сибайского ГОКа, как объекта для дополнительного доизвлечения ценных компонентов, утилизации вторичных отходов и пионерного проекта опытно-промышленных испытаний по эксплуатации техногенного объекта с параллельной переработкой накопленных в карьере и руднике минерализованных растворов. Вскрытие техногенного образования предусматривает проведение комплекса подготовительных работ по предварительному разрушению ярозитовой корки с целью предотвращения ее проламывания при передвижении по поверхности хвостохранилища горнотранспортного оборудования и растворения содержащих в ней металлов поверхностными водами и атмосферными осадками.

На основании результатов исследования подобрана технологическая схема, предусматривающая перемещение по поверхности хвостохранилища бульдозера, осуществляющего послойное снятие выделенных слоев в направлении устойчивых дамб, на которых осуществляется экскавация перемещенного техногенного сырья. Рекомендуемая технологическая схема при выполнении работ включает следующий производственный цикл (рис. 4.1): экскаватор 1 с дамбы производит выемку сырья и погрузку его в автосамосвал 2, формируя устойчивый уступ для работы бульдозера 3, который, в свою очередь, производит послойное скреперование сырья с последующим заполнением сформированной траншеи. Технологическая цепочка подразумевает циклический подход к отработке, т. е. при заполнении ранее пройденной бульдозером траншеи, экскаватор изменяет направление ведения работ на противоположное. Таким образом исключаются простои оборудования, а скорость заполнения траншеи определяется количеством скреперовальной техники.

С учётом установленных закономерностей строения, состава и физико-механических свойств техногенного сырья для разработки хвостохранилища ре-

комендуется следующее горнотранспортное оборудование: для разрушения ярозитовой корки необходимо применение одного, а для выемки техногенного сырья двух облегченных гусеничных бульдозеров типа Caterpillar D6; для разработки техногенного образования необходимо 2 экскаватора типа Caterpillar 395; для транспортирования – 6 автосамосвалов типа Shacman 366.

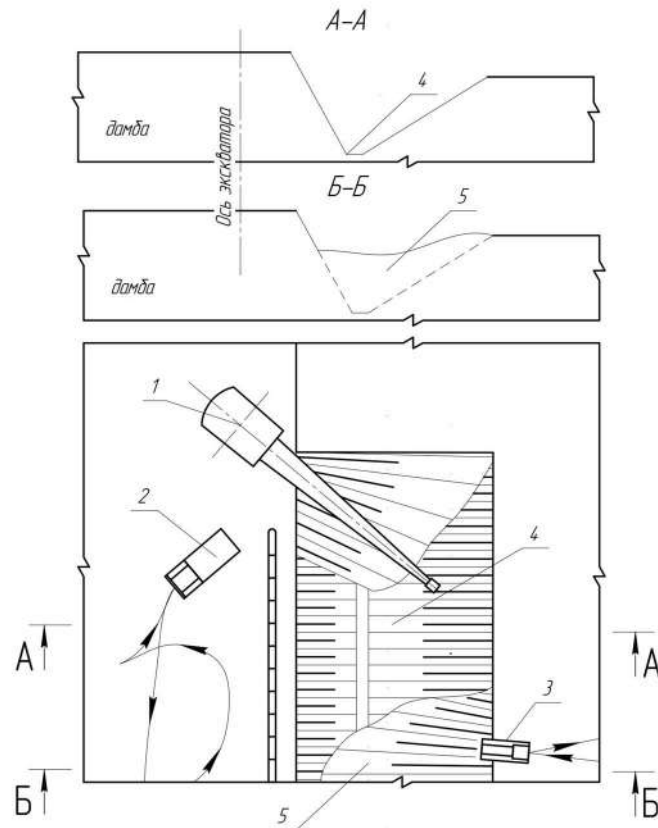


Рисунок 4. 1. Технологическая схема разработки старогоднего хранилища отходов переработки медно-колчеданных руд Сибайской обогатительной фабрики

Выбор оборудования определен с учетом обеспечения требуемой и возможной производительности 1 500 тыс. т в год при работе в городской черте, в первую очередь, для движения по существующим автомобильным дорогам. С учетом рекомендуемого способа разработки и объемов техногенного сырья, а также перспектив доработки оставшихся запасов Сибайского месторождения медно-колчеданных руд, можно предположить, что хвосты обогащения медно-колчеданных руд могут быть использованы для доизвлечения ценных компонентов с последующей утилизацией вторичных отходов для приготовления рекультивационного материала для рекультивации Сибайского карьера.

Виду того, что хвосты обогащения могут быть переработаны в гидрометаллургическом переделе совместно с минерализованными растворами, при расчетах



экономической эффективности была принята годовая производительность по добыче и переработке хвостов, равная 1 500 тыс. т. Согласно расчётам, только в старогоднем Сибайском хвостохранилище складировано около 6,2 т золота и 11,9 т серебра, что с учетом извлечения на уровне 75% является весьма благоприятным результатом, с получением дополнительного совокупного дохода оцененного в размере 6,5 млрд руб.

#### **4. 3. Техничко-экономические рекомендации по повышению эффективности освоения доработки Тырнаузского месторождения вольфрам-молибденовых руд с использованием лежалых отходов обогащения в закладке выработанного пространства**

В связи с тем, что в хвостах обогащения вольфрамо-молибденовых руд Тырнаузского месторождения выявили весьма низкое содержание ценных компонентов и преобладание в составе техногенного сырья окислов кремния, кальция, алюминия и железа, были проведены опытные исследования по обжигу хвостов при температуре 650<sup>0</sup> С в течение 4 часов для активации вяжущих свойств сырья.

В результате проведенных исследований получено сырье для производства керамической плитки, а также закладочного материала, который будет возможно использовать в составе закладочной смеси для закладки выработанного пространства подземных камер при дальнейшей доработке запасов месторождения, что позволит повысить эффективность освоения месторождения и ускорит срок ввода Эльбрусского подземного рудника в эксплуатацию.

Следует отметить, что доработка запасов Тырнаузского месторождения с применением закладки выработанного пространства осложнялась высокой стоимостью цементного вяжущего, поскольку горнопромышленный регион Кабардино-Балкарии расположен в гористой местности и не имеет в непосредственной близости цементного производства [57].

Рассмотренные в проекте доработки запасов Тырнаузского месторождения этажно-камерные системы разработки с двухстадийной выемкой и закладкой выработанного пространства зависят от морфологии рудного тела, поэтому для расчетов были приняты особенности геолого-структурного строения месторождения.

Оценка роста совокупного дохода при реализации разработанных в диссертации технико-технологических решений по вовлечению в эксплуатацию складированных в хвостохранилище отходов приведена на основе сопоставления основных статей капитальных и эксплуатационных затрат при реализации предлагаемых решений на первой стадии отработки запасов в восходящем порядке.

Оценка решений проводилась с учетом районирования хвостохранилища на пляжную и прудковую зону (рис. 4.2).



Рисунок 4. 2. Вид сверху хвостохранилища №2 Тырныаузской обогатительной фабрики с нанесением направления намыва хвостов при складировании

В результате проведенных опытно-промышленных 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 для получения твердеющей закладочной смеси.

В связи с тем, что динамика набора прочности этих смесей в ходе эксперимента подтвердила возможность получения заданных нормативных характеристик твердеющего закладочного массива в требуемые сроки при различной мощности дорабатываемых рудных тел, проведена оценка показателей эффективности технико-технологических решений. Результаты расчета увеличения совокупного дохода предприятия в случае реализации предлагаемых технико-технологических решений сведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. 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.	$C_{цем} = 40 \text{ руб./кг}$ $Q_{цем} = 1700 \text{ кг/м}^3$ $Q_{закл} = 9,1 \text{ млн м}^3$
3.	Экономия за счет сокращения длины транспортирования хвостов на закладочный комплекс	544, 24 млн руб.	$C_{ткм} = 15 \text{ руб./т*км}$ $\Sigma \Delta Q = 2,17 \text{ км}$ $Q_{хв} = 7,6 \text{ млн м}^3$ $Q_{хв} = 2,2 \text{ т/м}^3$
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 необожженной фракцией) $Q_{хв} = 7,6 \text{ млн м}^3$ $Q_{хв} = 2,2 \text{ т/м}^3$
5.	Дополнительные затраты электростанции на обжиг хвостов обогащения	27,888 млн руб.	$C_{эл} = 4,15 \text{ руб./кВт*ч}$ $Q = 40 \text{ кВт}$ (печи объемом 750 л) $T = 20 \text{ ч}$ $Q = 350 \text{ сут.}$
6.	<b>Итого:</b>	<b>618 183,4 млн руб.</b>	

Таким образом, использование хвостов обогащения в закладке выработанного пространства при доработке запасов Тырныаузского месторождения обеспечит рост совокупного дохода в размере 618 183,4 млн руб.

Также с учетом того, что из хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд Тырныаузского месторождения получается алининовый клинкер, соответствующий марке цемента 100, для использования в строительных отраслях, это техногенное сырье может быть эффективно вовлечено в промышленную эксплуатацию с использованием безотходной технологии.

#### 4. 4. Техничко-технологические рекомендации по вовлечению в эксплуатацию отходов переработки золотосодержащих руд месторождений Южно-уральского региона

В целях определения перспективности переработки лежалых техногенных отходов золотодобычи Пластовского района в едином цикле с рудами месторождения на Южном Урале выполнены исследования по выщелачиванию благородных

металлов по схеме, принятой на действующей золотоизвлекательной фабрике Кочкарского месторождения. Методика подготовки технологической пробы для проведения эксперимента заключалась в дополнительном измельчении 75 % техногенного сырья готового класса крупности -0,075 мм. В ходе опытно-промышленных испытаний по выщелачиванию золота из отходов обогащения золото-мышьяковистых руд Новотроицкого месторождения и эфельных отвалов установлено, что техногенное сырье относится к легкоцианируемому сырью, что доказало перспективность переработки техногенного золотосодержащего сырья цианированием в условиях действующей золотоизвлекательной фабрики Кочкарского месторождения на Южном Урале с подшихтовкой к золотосодержащим рудам.

Учитывая высокую привлекательность и перспективность переработки техногенного золото-мышьяковистого сырья в условиях действующей обогатительной фабрики Кочкарского месторождения, с подшихтовкой к золотосодержащим рудам, благоприятными факторами для разработки техногенных образований – Новотроицкого хвостохранилища и эфельных отвалов, с минимальными капитальными затратами являются:

- расположение исследуемых капитальных объектов Новотроицкого хвостохранилища и 39 эфельных отвалов в непосредственной близости от объектов перерабатывающего комплекса;
- доступное транспортное сообщение старогодних техногенных образований с действующими автомобильными дорогами, расположенных в черте г. Пласт;
- наличие оборудования для выполнения подготовительных, планировочных и выемочно-погрузочных работ в резерве у горнодобывающего предприятия АО «ЮГК», расположенного в г. Пласт;
- наличие резервных мощностей по рудоподготовке;
- наличие оборудования, способного обеспечить доизмельчение хвостов обогащения с содержанием до 75% готового класса крупности -0,075 мм.

Таким образом, основную долю затрат при освоении техногенного золотосодержащего образования составят расходы на выкорчевывание подлеска и иных растений, добычу и транспортирование техногенного сырья от рабочего забоя до

склада перерабатывающей фабрики, а также при ведении горных работ в период ливневых дождей и паводка могут потребоваться дополнительные затраты.

При подготовке проекта к опытно-промышленной разработке [87] и апробации технологии необходимо определить условия и технологию обособленной подачи хвостов на измельчение. Важно отметить, что вещественный состав хвостов обогащения позволяет объединить доизмельченные хвосты с измельченной рудой, а сгущенную объединенную пульпу по трубопроводу направить на переработку на обогатительную фабрику.

Поскольку производительность оборудования при разработке техногенных образований ограничена малым фронтом работ и также технологическими возможностями Пластовский ЗИФ, производительность участка ведения горных работ определена в 200 тыс. т в месяц, исходя из следующего:

– проектная и фактическая производительность Пластовской ЗИФ составляет 5 млн т/год и 350 тыс. т/мес., в том числе 250 тыс. т/мес. приходится на перерабатываемые отходы;

– срок ведения горных работ не должен превышать полутора лет.

Расчёт необходимого количества горнотранспортного и вспомогательного оборудования выполнен в соответствии с утверждёнными методиками и рекомендациями, с учётом круглогодичной работы в 2 смены по 8 часов (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Расчёт необходимого количества автосамосвалов при погрузке техногенного сырья

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели	
			Shacman 366	Shacman 384
1	Объем перевозок	тыс. м <sup>3</sup> ,	1100,6	1100,6
		тыс.т	1761	1761
2	Суточный объем породы	т	639	639
3	Расчетный суточный объем перевозок при Кпер=1,15	т	734,9	734,9
4	Средневзвешенная дальность транспортирования	км	6,5	6,5
5	Фактическая грузоподъемность автосамосвала	т	31	25
6	Средняя скорость движения	км / час	25	25
7	Время одного рейса а/с:			
	-погрузка	мин	4,6	3,7
	-время хода туда и обратно	мин	31,2	31,2
	-разгрузка	мин	1	1
	-ожидание и маневр	мин	1	1

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели	
			Shacman 366	Shacman 384
8	Время оборота автосамосвала	мин	37,8	36,9
9	Продолжительность смены	мин	480	480
10	Время на подгот. - закл. операции	мин	30	30
11	Время на личные надобности	мин	10	10
12	Чистое время работы автосамосвала в сутки	мин	440	440
13	Количество рейсов автосамосвала в смену	рейс	11	11
14	Суточная производительность автосамосвала	т	341	275
15	Рабочий парк автосамосвалов: расчетный/принят	шт	1,9	2,3
16	Списочный парк автосамосвалов $K_{ин}=-1,15$	шт	2,3	3,45
			3	4
17	Годовой пробег всех автосамосвалов ( $K_{пр}=1,1$ )	тыс. км / год	47	41

С учётом рассчитанного количества выемочно-погрузочного, горнотранспортного и вспомогательного оборудования, рекомендуемого при освоении хвостохранилища, ориентировочные затраты составили 23,39 млн руб. (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Ориентировочные затраты на выполнение работ по разработке Новотроицкого хвостохранилища с последующей рекультивацией территории

Наименование работ или затрат	Объём работ	Стоимость работ	Общая стоимость, млн. руб.
<b>1. Добыча и транспортирование</b>			
Подготовка, выемка и погрузка приповерхностного слоя	71,6 тыс. м <sup>3</sup>	8,4 руб./ м <sup>3</sup>	0,6
Выемка и погрузка пород для перевозки на площадку Пластовкой ЗИФ для последующей дезактивации и попутного извлечения благородных металлов	1 100 тыс. м <sup>3</sup>	8,2 руб./ м <sup>3</sup>	9,02
Перевозка материала хвостохранилища до Пластовской ЗИФ	1 100 тыс. м <sup>3</sup>	12 руб./ м <sup>3</sup>	13,2
Восстановление рельефа	86,0 тыс. м <sup>3</sup>	3,8 руб./ м <sup>3</sup>	0,32
<b>2. Биологический этап рекультивации</b>			
Планировка поверхности участка отвала вскрышных пород	100 тыс. м <sup>2</sup>	1,7 руб./ м <sup>3</sup>	0,17
Нанесение почвенного слоя	20 тыс. м <sup>3</sup>	4,2 руб./ м <sup>3</sup>	0,08
Итого			23,39

Таким образом, за счёт переработки всего объёма техногенного золотосодержащего сырья в условиях действующей обогатительной фабрики, при извлечении золота на уровне 70% возможно получение дополнительной прибыли по готовой товарной продукции в количестве 3 млрд рублей, окупаемость инвести-

ционных затрат на проведение работ по разработке хвостохранилища в таком случае составит менее одного месяца.

Таким образом, 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.

#### **Выводы по 4 главе**

1. Разработаны предложения по гармонизации терминологии в сфере управления отходами недропользования, выявлены противоречия в законодательной базе России, сдерживающие вовлечение в освоение отходов горнопромышленного комплекса.

Предложения уже частично реализованы в законодательной базе, а именно с 01.09.2023 г. вступили в силу следующие нормативные документы:

– Порядок использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Федерального агентства по недропользованию от 25.04.2023 № 247/04;

– Порядок добычи полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, в том числе из вскрышных и вмещающих горных пород, утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Федерального агентства по недропользованию от 25.04.2023 № 246/03.

2. Обоснованы рекомендации по совершенствованию правовых норм и актов в сфере обращения с отходами недропользования, включающие изменения в Закон «О недрах»; Налоговый Кодекс РФ; Правила подготовки проектной доку-

ментации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых, утвержденные приказом Минприроды России от 14 июня 2016 г. № 352; Требования к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов твердых полезных ископаемых, утвержденные приказом Минприроды России от 23 мая 2011 г. № 378; Правила подготовки, согласования и утверждения технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых, технических проектов строительства и эксплуатации подземных сооружений, технических проектов ликвидации и консервации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами, по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами, утвержденные постановлением Правительства РФ от 30.11.2021 № 2127; а также разработке методических рекомендаций для расчета нормативных потерь при добыче и стандартов горно-промышленных предприятий.

3. Предложено создание единого государственного реестра накопленных техногенных образований и текущих отходов недропользования с полным указанием качественных и количественных характеристик минерального сырья, объемов накоплений, содержания в них ценных компонентов и вредных примесей, перспективных направлений использования в различных сферах.

4. 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.

5. Определены потребности и возможности предприятий, принятых в качестве техногенных объектов, сформированных при освоении месторождений: Сибайское, Тынрыузское, Новотроицкое и множественных эфельных отвалов Южноуральского региона, выявленных в качестве первоочередных объектов исследований.

6. Определены условия и разработаны технологические схемы вовлечения в эксплуатацию техногенных объектов с последующим снижением класса опасно-



сти вторичных отходов для их безопасного складирования, обезвреживания или захоронения:

– Сибайское старогоднее хвостохранилище предложено разрабатывать открытым способом с переработкой отходов обогащения медно-колчеданных руд методом выщелачивания и гидрометаллургии, а вторичные отходы выщелачивания подвергать обжигу для получения железосодержащих товарных продуктов и рекультивационного материала;

– открытая разработка Тырнаузского хвостохранилища вольфрамомолибденовых руд для использования лежалых хвостов после обжига в качестве вяжущего компонента в составе закладочной смеси и для производства низкомарочных цементов;

– разработка открытым способом техногенных образований золотосодержащего сырья Южноуральского региона с последующей его переработкой на действующих золотоизвлекательных фабриках в едином технологическом цикле с рудами близлежащих месторождений до получения драгоценных металлов и рекультивационного материала.

7. Проведена оценка технико-экономических показателей эффективности, разработанных технико-технологических решений по добыче и переработке исследуемого техногенного сырья. Расчеты показали:

– в старогоднем Сибайском хвостохранилище складировано около 6,2 т золота и 11,9 т серебра, что является весьма благоприятным результатом, обуславливающим эффективное вовлечение техногенного сырья в эксплуатацию;

– в результате переработки техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища будет извлечено не менее 654 кг золота, что позволит получить дополнительную прибыль в размере 3 млрд рублей. Окупаемость затрат в результате переработки всего объема техногенного золотосодержащего сырья в условиях действующей обогатительной фабрики Кочкарского месторождения при извлечении золота 75% составит менее одного месяца;

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершённой научно-квалификационной работой, дано развитие правовой и научно-технической базы проектирования горно-технических систем комплексного освоения рудных месторождений с вовлечением в эксплуатацию техногенного сырья на базе установленных закономерностей изменения вещественного состава, технологических 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 Тырнаузского 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, постановки 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 нор-

мы 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 подвергать обжигу до температуры  $650^{\circ}\text{C}$  для активации вяжущей активности; золотосодержащее сырье техногенных образований Южноуральского региона 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 618 183,4 млн руб.; техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища – не менее 654 кг золота с экономическим эффектом – 3 млрд рублей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Castilla, J. C. Copper mine tailing disposal in northern Chile rocky shores: *Enteromorpha compressa* (Chlorophyta) as a sentinel species / J. C. Castilla // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 1996. – Vol. 40. – P. 171-184.
2. Castor, S. B. Rare Earth Elements. Industrial Minerals Volume / S. B. Castor, J. B. Hedrick // *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, Colorado*. – 2006. – P. 769-792.
3. Christenson, H. Characterisation of arsenic geochemistry in mine tailings from a mesothermal gold deposit. 11th Conference «Risk to Opportunity» / H. Christenson, J. Pope, D. Craw. – 2018. – P. 6.
4. Hackett, S. C. Environmental and natural resources economics: Theory, policy, and the sustainable society / S. C. Hackett. – 2011. DOI:10.4324/9781315289939
5. Hakkou, R. Acid mine drainage at the abandoned Kettara mine (Morocco): 1. Environmental characterization / R. Hakkou, M. Benzaazoua, B. Bussière // *International Journal of Mine Water*. – 2008. – Vol. 27. – No. 3. – P. 145-159.
6. Ivankov, S. I. Sovremennye tendentsii sozdaniya tekhnologii pererabotki i utilizatsii otkhodov obogashcheniya gorno-obogatitel'noi otrasli [Modern trends in the creation of technology for processing and disposal of enrichment waste in the mining and processing industry]. / S. I. Ivankov, A. V. Troitskii, K. D. Skobelev // *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchei sredy*. – 2021. – № 2. – P. 2-39.
7. Jamieson, H. E. Mineralogical characterization of mine waste / H. E. Jamieson, S. R. Walker, M. B. Parsons // *Applied Geochemistry*. – 2015. – Vol. 57. – P. 85-105. Doi:10.1016/j.apgeochem.2014.12.014
8. Jordens A., Cheng Y. P., Waters K. E. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals / A. Jordens, Y. P. Cheng, K. E. Waters // *Minerals Engineering*. – 2013. – Vol. 41. – P. 97-114. DOI:10.1016/j.mineng.2012.10.017
9. Korobova, O. S. Mekhanizmy stimulirovaniya realizatsii proektov v sfere obrashcheniya s otkhodami nedropol'zovaniya [Mechanisms for stimulating the implementation of projects in the field of waste management of subsurface use] / O. S. Korobova // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka*. – 2020. – № 6. – P. 87-94.
10. Lifton, J. The global rare earth market. – 2015. URL: <https://investorintel.com/sectors/technology-metals/technology-metalsintel/lifton-on-kin-gsnorth-and-the-global-rare-earthmarket/> (дата обращения: 28.05.2023).
11. Liu, J. Impact of heavy metal pollution on ammonia oxidizers in soils in the vicini-

ty of a tailings dam, Baotou, China / J. Liu, W. Cao, H. Jiang, et al. // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2018. – Vol. 101. – No. 1. – P. 110-116.

12. McGregor, R. The physical, chemical and mineralogical properties of three cemented layers within sulfide-bearing mine tailings / R. McGregor, D. Blowes // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2002. – Vol. 76. – No. 3. – P. 195-207.

13. Meima, J. A. Geochemical modelling of hardpan formation in an iron slag dump / J. A. Meima, S. Regenspurg, A. Kassahun, D. Rammlmair // *Minerals Engineering*. – 2007. – Vol. 20. – No. 1. P. 16-25. DOI: 10.1016/j.mineng.2006.04.005

14. Merriman, D. A. Review of the global supply of rare earths // Roskill Consulting Group. – 2013. URL: [http://www.rsc.org/images/David-Merriman\\_tcm18-230229.pdf](http://www.rsc.org/images/David-Merriman_tcm18-230229.pdf). (дата обращения: 12.07.2022)

15. Mhlongo, S. E. Development and application of a methodological tool for prioritization of rehabilitation of abandoned tailings dumps in the Giyani and Musina areas of South Africa / S. E. Mhlongo, F. Amponsah-Dacosta, A. Kadyamatimba // *Cogent Engineering*. – 2019. – Vol. 6 (1).

16. Muravyov, M. Old Sulfidic Ore Tailing Dump: Ground Features, Mineralogy, Biodiversity-A Case Study from Sibay / D. Radchenko, M. Tsupkina, V. Babenko, A. Panyushkina. // *Minerals*. – 2024. – P. 17. <https://doi.org/10.3390/min14010023>

17. Nevskaya, M. A., Marinina, O. A. Regulatory aspects of mining waste management in the Russian Federation / M. A. Nevskaya, O. A. Marinina // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. – 2015. – Vol. 12. – No. 3. – P. 2619-2628. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1942>

18. Ono, F. B. Investigation of arsenic species in tailings and windblown dust from a gold mining area / F. B. Ono, R. Tappero, D. Sparks, L. R. G. Guilherme // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – Vol. 23. – No. 1. – P. 638-647. DOI: 10.1007/s11356-015-5304-y

19. Progres Ekotech, s. r. o.: сайт. URL: <https://progres-ekotech.cz/en/> (дата обращения: 04.10.2022) (дата обращения: 26.01.2024).

20. Rybak, Ya. Utilizatsiya tekhnogennykh otkhodov gornometallurgicheskikh kompleksov - sposob rasshireniya mineral'no-syr'evoi bazy predpriyatiya [Utilization of technogenic waste of mining and metallurgical complexes as a way to expand the mineral resource base of the enterpris]. / Ya. Rybak, S.M. Gorbatyuk, Ch.B. Kongar-Syuryun, A.M. Khairutdinov, Yu.S. Tyulyaeva, P.S. Makarov // *Metallurg*. – 2020. – № 9. – P. 8-16.

21. Senguler, Ilker. Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues Rare Earth Elements / Ilker Senguler. – Cincinnati: NRMRL, 2012. – 135 p.
22. Zinkov, A. V. Specific features of technogenic mineralization of tailing dumps (Primorye, Dalnegorsk district) / A. V. Zinkov, I. A. Tarasenko, G. A. Bakhareva, T. V. Afanasieva // Pacific Science Review. – 2003. – Vol. 5. – Pp. 16-22.
23. Аверьянов, К. А. Обоснование технологий активной утилизации техногенного сырья при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала: автореф. дис. ...канд. техн. наук / К. А. Аверьянов. – Магнитогорск, 2012. – 21 с.
24. Агошков, М. И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр / М. И. Агошков // Горный журнал. – 1984. – № 3. – С. 2-6.
25. Аксенов, С. А. Проблемы ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде с позиций экологической безопасности / С. А. Аксенов // Рациональное освоение недр. – 2017. – № 2. – С 44-49.
26. Аллабергенов Р. Д. Молибденсодержащее техногенное сырье и пути его переработки / Р. Д. Аллабергенов, Х. Т. Шарипов, Р. К. Ахмедов, С. С. Негматов, А. Н. Бозоров // Материалы XIV Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». – 2015. – С. 189-190.
27. Ангелов, В. А. Обоснование способов подготовки техногенного сырья для эффективного использования при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений: дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2012. – 175 с.
28. Ануфриева, С. И. 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.
29. Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование / А. В. Архипов, С. П. Решетняк / Под ред. Н. Н. Мельникова. – Апатиты: КНЦ РАН, 2017. – 175 с.
30. Архипова Л. Т. Критерий оценки горного производства с применением комплексной разработки сырьевых ресурсов / Л. Т. Архипова // Материалы XIV Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». – 2015. – С. 87-89.

31. Бабасов, А. Г. Техничко-экономическая оценка целесообразности выемки и переработки отвальных хвостов из карьера Главный на Карагайлинской ОФ ТОО «Корпорация Казахмыс» / А. Г. Бабасов // Металлогения древних и современных океанов. – 2020. – № 1. – С. 112-116.
32. Бабенко, Д. А. Обеспечение экологической безопасности хранения отходов обогащения медных руд: дис. ...канд. техн. наук / Д. А. Бабенко. – С.-Петербург, 2021. – 116 с.
33. Бабич, И. Н. Технологическая оценка техногенного минерального сырья как фактор повышения эффективности использования недр / И. Н. Бабич, С.В. Гетман, Д. А. Чистяков, Е. А. Аширбаева // НИТУ «МИСиС», ООО «НВП Центр-ЭСТАгео». – 2017.
34. Басова, И. А. О создании реестра техногенных минеральных образований / И.А. Басова, Д.О. Прохоров, С.В. Пьянков // Вестник СГУГИТ. – 2021. – Т. 26. – № 6. – С. 107-116.
35. Башлыкова, Т. В. Технологическое обеспечение рационального недропользования / Т. В. Башлыкова // Недропользование-XXI век. – 2006. – № 1. – С. 56-60.
36. Безукладников, П. В. Золошлаковые материалы угольных электростанций - отходы или ценное сырье / П. В. Безукладников, В. В. Тропин, Е. Н. Полушкина, Т. А. Меркульева // Рециклинг отходов. – 2008. – № 6. – С. 24.
37. Беневольский, Б. И. О потенциале техногенных россыпей золота Российской Федерации / Б. И. Беневольский, Т. П. Шевцов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2000. – № 1. – С. 14-18.
38. Березовский, П. В. Экономическая оценка вторичных минеральных ресурсов / П. В. Березовский. – СПб.: СПбГГИ, 2006. – 163 с.
39. Бодуэн, А. Я. Извлечение благородных и цветных металлов из техногенного сырья Норильского промышленного региона: практика и исследования / А. Я. Бодуэн, Г. В. Петров, И. И. Мардарь, Б. С. Иванов // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 3. – С. 143-145.
40. Бусырев, В. М., Чуркин, О. Е. Оценка стоимости запасов и эффективности освоения техногенных месторождений / В. М. Бусырев, О. Е. Чуркин // ГИАБ. – 2016. – № 6. – С. 106-114.
41. Быховский, Л. З. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения / Л. З. Быховский, Л. В. Спорыхина //



Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2011. – № 4. – С. 15-20.

42. Вержанский А. П. Техногенное сырье-важнейший резерв развития // Редкие земли: электронный журнал. URL: <http://rareearth.ru/ru/pub/20161025/02891.html>. Дата публикации: 25.10.2016.

43. Верчеба, А. А. Техногенные месторождения, способы их формирования и переработки: учеб. Пособие / А. А. Верчеба, С. В. Маркелов. – М.: МГРИ, 2003. – 66 с.

44. Волынкина, Е. П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России / Е. П. Волынкина // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 43-49.

45. Гальперин, А. М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: монография / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Ю. В. Кириченко. – М.: Горная книга, 2012. – 336 с.

46. Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями / коллектив авторов; отв. ред. С. М. Ткач. – Новосибирск: СО РАН, ИГД Севера им. Н. В. Черского, 2013. – 307 с.

47. Гершенкоп, А. Ш. Переработка техногенного сырья Кольского полуострова / А. Ш. Гершенкоп, М. С. Хохуля, Т. Н. Мухина // Вестник КНЦ РАН. – 2010. – № . – С. 4-8.

48. Гладышев, Н. Г. Научные основы рециклинга в техноприродных кластерах обращения с отходами: дис. ... докт. техн наук / Н. Г. Гладышев. – Самара, 2013. – 331 с.

49. Голик, В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА / В. И. Голик, О. Н. Полухин, А. Н. Петин, В. И. Комащенко // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 91-94.

50. Горлова, О. Е. Развитие научно-методологических основ технологии переработки горнопромышленных отходов: дис. ... доктор. техн. наук / О. Е. Горлова. – Магнитогорск, 2020. – 375 с.

51. Горное дело: Терминологический словарь / Под науч. ред. К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова. – 5-е изд. – М.: Горная книга, 2016. – 635 с.

52. ГОСТ 24.072.11-81. Забои одноковшовых экскаваторов. Показатели качества, введен 01.07.1982 с изм. 1987 г. – 15 с.

53. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - М.: Стандартиформ. - 2019. - 20 с.

54. Гошин, Е. Г. Формирование техногенных месторождений определенного качества с целью их последующего освоения / Е. Г. Гошин // Сборник докладов

Восьмой научно-практической школы-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых». – 2019. – С. 31-33.

55. Гридина, Е. Б. Обоснование параметров складов отходов железорудных карьеров при формировании техногенных месторождений: дис. ...канд. техн. наук / Е. Б. Гридина. – СПб: СПбГУ. – 2004. – 128 с.

56. Дерягин, А. А. Оценка перспектив вовлечения в эксплуатацию техногенных месторождений / А. А. Дерягин, В. М. Котова, А. Л. Никольский // Маркшейдерия и недропользование. – 2001. – № 1. – С. 15-19.

57. Джаппуев, Р. К. Исследование технологий закладки выработанного пространства с использованием лежалых хвостов обогащения вольфрамомолибденовых руд / Р. К. Джаппуев, М. В. Цупкина, В. И. Татарников, П. О. Зубков // Научные труды IV Международной научно-технической конференции. – 2024. – С.71-75.

58. Ежов, А. И. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) / А. И. Ежов // Горные науки и технологии. – 2016. – №4. – С. 62-75.

59. Закон РФ «О недрах» N 2395-1: текст с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024: принят законодательством РФ 21 февраля 1992 года]. – Москва, 2024. – Доступ из справочно-правовой системы КонсультантПлюс.

60. Залевская, К. Н. Выбор и обоснование параметров технологий эффективного экологически сбалансированного освоения техногенных минеральных ресурсов золотодобычи / К. Н. Залевская / Под ред. В. Н. Калмыкова, М. В. Рыльниковой // Материалы XII Научно-практической конференции с международным участием «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых». – 2023. – С. 113-16.

61. Залевская, К. Н. Выбор технологии и параметров открытой разработки техногенных образований из отходов переработки золотосодержащих руд : дисс. ...канд. техн. наук / К. Н. Залевская. – М.: ИПКОН РАН, 2022. – 165 с.

62. Золошлаковые отходы. Часть 1: На пороге экологического коллапса: сайт // ИХТЦ. URL: <https://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody> (дата обращения: 17.05.2023).

63. 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.

64. Кавчик, Б. К. Геологическое строение техногенных россыпей и его влияние на выбор способа отработки / Б. К. Кавчик, В. Г. Пятаков // Золотодобыча. – 2010. – № 135. URL: <https://zolotodb.ru/article/10244> (дата обращения: 12.08.2023).

65. Каплунов, Д. Р. Комплексное освоение недр комбинированными геотехнологиями / Д. Р. Каплунов, А. Д. Рубан, М. В. Рыльникова. – М.: НИИЦ «Недра-XXI», 2010. – 304 с.

66. Каплунов, Д. Р. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр земли / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко // ГИАБ. – 2015. – № S4-2. – С 5-11.

67. Каплунов, Д. Р. Принципы обоснования геотехнологических решений по эксплуатации техногенных образований из отходов обогащения медно-колчеданных / Д. Р. Каплунов, М. В. Цупкина / Под ред. В. Н. Калмыкова, М. В. Рыльниковой // Материалы XII Научно-практической конференции с международным участием «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых». – 2023. – С. 99-101.

68. Каплунов, Д. Р. Проектирование формирования и развития горнотехнических систем при комбинированной геотехнологии / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова // ГИАБ. 2015. – № S1-1. – С. 229-240.

69. Комаров, М. А. Горнопромышленные отходы - дополнительный источник минерального сырья / М. А. Комаров, В. А. Алискеров, В. И. Кусевич, В. Л. Заверткин // Минеральные ресурсы России. Экономика и Управление. – 2007. – № 4. – С.3-9.

70. Коробова, О. С. Механизмы стимулирования реализации проектов в сфере обращения с отходами недропользования / О. С. Коробова // Известия вузов. Геология и разведка. – 2020. – № 6. – С. 87-94.

71. Коробова, О. С. Механизмы стимулирования реализации проектов в сфере обращения с отходами недропользования / О. С. Коробова // Известия вузов. Геология и разведка. – 2020. – № 6. – С. 87-94.

72. Котова, О. Б. Интервенция минералогии в технологии переработки труднообогатимых полезных ископаемых / О. Б. Котова, Е. Г. Ожогина, А. А. Рогожин // Материалы Международной науч. конференции «Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья» (Плаксинские чтения). – 2017. – С. 10-13.

73. Левченко, Е. Н. Техногенное минеральное сырьё: особенности вещественного состава и технологических свойств, геолого-технологическое картирование / Е. Н. Левченко, Л. И. Веремеева, О. Е. Горлова // Руды и металлы. – 2018. – №1. – С. 64-75.

74. Литвинцев, С. В. Проблемы рационального освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в восточных районах России / С. В. Литвинцев // ФТПРПИ. – 2015. – № 1. – С. 97-104.

75. 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. – 2008. – С. 223-224.

76. Луняшин, П. Д. Потери, которые можно вернуть / П. Д. Луняшин // Золотодобыча. – 2016. – 211 с.

77. Ляшенко, В. И. Развитие технологий и технических средств обогащения титаносодержащих руд / В. И. Ляшенко, Т. В. Чекушина, М. О. Олейник, О. И. Бондуривская // Материалы XIV Междунар. конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. – 2015. – С. 193-195.

78. Макаров, В. А. Благородные металлы техногенных минеральных объектов Сибирского региона: ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки / В. А. Макаров // Сборник Первого Международного конгресса и выставки: Цветные металлы. – 2009. – С. 37-45.

79. Максимова, А. М. Организационно-экономический механизм извлечения редких и редкоземельных металлов из отходов горнодобывающих предприятий: дис. ...канд. экон. Наук / А. М. Максимова. – Москва. – 2018. – 201 с.

80. Малютин, Ю. С. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы России и перспективы их использования / Ю. С. Малютин // Маркшейдерия и недропользование. – 2001. – № 1. – С. 21-25.

81. Мамбетов, Ш. А. Комплексное освоение месторождений минеральных ресурсов: учеб. пособие для вузов / Ш. А. Мамбетов, А. Р. Абдиев, Р. Ш. Мамбетова. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019. – 288 с.

82. Мелентьев, Г. Б. Концепции по восстановлению и развитию производств редких металлов в России / Г. Б. Мелентьев // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2011. – № 4. – С. 104-113.

83. Мельников, Н. В. Проблемы комплексного использования минерального сырья / Н. В. Мельников // Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов: сборник статей ИПКОН РАН. – М.: Наука, 1978. – С. 14-28.

84. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения: утв. распоряжением МПР России от 05.06.2007 № 37-р. - М.: ФГУ ГКЗ, 2007. – 66 с.

85. Методические указания по подсчету запасов золота и олова в россыпях / под ред. О. Х. Цопанова. – 2-е изд. – Магадан, 1979. – 104 с.

86. Монте-Кали - соляная гора, ставшая экологической катастрофой: перевод источника [odditycentral.com](http://odditycentral.com). // [fishki.net](http://fishki.net): блог. – 2023. - URL: <https://fishki.net/4375772-monte-kali---soljanaja-gora-stavshaja-jekologicheskoj-katastrofoj.html?ysclid=mlp18mrq1q295307976> (дата обращения: 26.10.2023).

87. 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.

88. Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки. ВНТП 35-86. – М.: Минцветмет СССР, 1986. – 109 с.

89. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: гос. доклад / гл. ред. Е. И. Петров, Д. Д. Тетенькин // Мин-во природных ресурсов и экологии РФ, Федеральное агентство по недропользованию. – 2021.

90. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад Минприроды России. – М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2023. – 686 с. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/) (дата обращения: 12.08.2024).

91. 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.

92. 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.

93. 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.

94. Пашкевич, М. А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду. – СПб.: СПГГИ (ТУ), 2000. – 230 с.

95. Перечень поручений по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы: утв. Президентом РФ от 28.06.2022 № Пр-1130. Доступ из справочно-правовой системы Консультант Плюс.

96. Петунина, О. Н. Динамика и тенденции изменения состояния сырьевой базы твердых полезных ископаемых по данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых (2004-2011 гг.) / О. Н. Петунина, В. П. Бондаренко, А. Д. Черкасов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2012. – № 4. – С. 43-55.

97. Пешков, А. М. Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений урала: автореф. дис. ...канд. техн. наук / А. М. Пешков. – М., 2014. – 20 с.

98. Пивняк Г. Г. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений / Г. Г. Пивняк, И. Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А. И. Панасенко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 566 с.

99. Полянская, И. Г. Повышение уровня сбалансированности недропользования в регионе с помощью учета отходов недропользования / И. Г. Полянская, В. В. Юрак, В. Е. Стровский // Экономика региона. – 2019. – Т. 15. – Вып. 4. – С. 1226-1240. DOI: 10.17059/2019-4-20

100. Пыталев, И. А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем: дис. ...докт. техн. наук / И. А. Пыталев. – Магнитогорск: МГТУ им. Н.В. Носова, 2019. – 360 с.

101. Радченко, Д. Н. Комплексное использование техногенного минерального сырья в процессах комбинированной технологии / Д. Н. Радченко / Под ред. В. Н.

Калмыкова, М. В. Рыльниковой // Материалы XII Научно-практической конференции с международным участием «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых». – 2023. – С. 22-24.

102. Радченко, Д. Н. Обоснование технологии добычи и переработки техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища / Д. Н. Радченко, И. В. Хайдаров, К. Н. Залевская // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 277-289.

103. Радченко, Д. Н. Оценка влияния физико-механических свойств лежалых отходов обогащения золоторудного сырья на выбор параметров геотехнологии освоения техногенных объектов / Д. Н. Радченко, К. Н. Залевская // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 15-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – 2021. – С. 210-212.

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

105. Развитие промышленной переработки техногенного сырья в России: доклад на «круглом столе» Комитета ГД ФС РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии по проблеме использования техногенных месторождений / В. И. Кашин. – 2016. URL: <https://kprf.ru/activity/ecology/152853.html> (дата обращения: 16.07.2023).

106. 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.

107. Распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р. // Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 30.01.2018, № 0001201801300015.

108. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий / коллектив авторов; под науч. ред. Ф. Д. Ларичкина, В. А. Кныша. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 252 с.

109. Руднев, Б. П. Обзор мирового опыта переработки хвостов обогащения и отвалов металлургического производства обогатительными методами / Б. П. Руднев // Цветная металлургия. – 2009. – № 4. – С. 3-9.

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

111. Рыльникова, М. В. Исследование экологического воздействия Новотроицкого хвостохранилища на растительный покров и живые организмы / М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, М. В. Цупкина, В. А. Сафонов // Известия ТулГУ. – Науки о Земле. – 2020. – Вып. 1. – С. 208-220.

112. Рыльникова, М. В. Новые подходы к освоению техногенных месторождений / М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, К. Н. Залевская // Сборник трудов 4-й конференция международной научной школы академика РАН К. Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». – 2020. – С. 19-22.

113. Рыльникова, М. В. Опытнo-промышленная апробация технологии выщелачивания отходов переработки медно-колчеданных руд / М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, А. Ф. Илимбетов, А. Н. Звягинцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 293-301.

114. Рыльникова, М. В. Оценка влияния гипергенеза в хранилищах отходов переработки медно-колчеданных руд на выбор технологических схем их разработки / М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, М. В. Цупкина // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2023. – Вып. 2. – С. 284-299.

115. Рыльникова, М. В. Проблемы и задачи вовлечения в эксплуатацию лежащего и текущего техногенного минерального сырья одновременно с разработкой балансовых запасов месторождений / Под ред. В. Н. Калмыкова, М. В. Рыльниковой // Материалы XII Научно-практической конференции с международным участием «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых». – 2023. – С. 97-98.

116. Рыльникова, М. В. Проблемы и перспективы вовлечения хвостов обогащения золото-мышьяковистых руд в эксплуатацию для решения экологических проблем региона / М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, К.Н. Залевская и др.// Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. – 2019. – С. 142-147.

117. Рыльникова, М. В. Энергоэффективные и безопасные технологии разведки и разработки техногенных образований. Принципы проектирования технологических схем / М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко // Горная промышленность. – 2018.



– № 3 (139). – С. 86-90.

118. Самылин, В. Н. Обогащение руд цветных металлов. Конспект лекций / В. Н. Самылин. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 57 с.

119. Сартбаев, М. К. Извлечение металлов из вольфрамсодержащих пород и хвостов обогащения руд / М. К. Сартбаев, Н. Жалгасулы // Материалы XIV Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». – 2015. – С. 193.

120. Секисов Г. В. Академическая наука - горное производство. «круглый стол» Горного журнала / Г. В. Секисов // Горный журнал. – 1991. – № 4. – С. 7-9.

121. Соколовский, А. В. «НТЦ-геотехнология»: проектируем надежное будущее / А.В. Соколовский, В.Н. Лапаев, В.А. Пикалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 4. – С. 388-396.

122. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года от 25 января 2018 г. № 84-р (с изм. на 13.10.2022) // Распоряжение правительства РФ. – 2022. – 55 с.

123. Стриженок, А. В. Мониторинг и оценка пылевыведения с поверхности хвостохранилища АНОФ-2 ОАО «АПАТИТ» / А. В. Стриженок, М. А. Пашкевич // Научный вестник МГГУ. – 2012. – № 7. – С. 106-113.

124. Таракановский, В. И. Техногенные образования - важный источник пополнения МСБ для россыпных предприятий / В. И. Таракановский // Научные труды IV Международной науч.-технич. конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов». – 2024. – С. 128-135.

125. Татарников А. П. Развитие покусковой сепарации полезных ископаемых / А. П. Татарников и др. // Цветные металлы. – 1995. – № 8.

126. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы / под ред. Б. К. Михайлова. – М.: Научный мир, 2012. – 234 с.

127. Трубецкой, К. Н. Комплексы мобильного оборудования на открытых горных работах / К. Н. Трубецкой, Е. Р. Леонов, Ю. Б. Панкевич. – М.: Недра, 1990. – 255 с.

128. Трубецкой, К. Н. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли / К. Н. Трубецкой, Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова // ФТПРПИ. – 2012. – № 4. – С. 116-124.

129. Уланов, А. Ю. О совершенствовании системы обращения с отходами

недропользования / А. Ю. Уланов, В. И. Бахмин, О. С. Коробова // ГИАБ. – 2020. – № 6. – С. 48-55.

130. Уманец, В. Н. Научно-методические основы комплексной оценки техногенных месторождений: дис. ...докт. техн. наук / В. Н. Уманец. – М.: Алма-Ата, 1992. – 300 с.

131. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» N 89-ФЗ: посл. ред. от 04.08.2023 г.: [принят Государственной Думой 22 мая 1998 года]. – Москва, 2023. – Доступ из справочно-правовой системы КонсультантПлюс.

132. Хачатуров, Т. С. Экономика природопользования. 2-е изд. / отв. ред. Е. И. Капустин. – М.: Наука, 1987. – 255 с.

133. Целик, Д. И. Техногенные хвосты золотодобычи: промышленный потенциал и перспективы вторичного освоения / Д. И. Целик, И. Н. Целик // Горные науки и технологии. – 2019. – № 8. – С. 41-47.

134. Цупкина, М.В. Обоснование режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений: дис. ... канд. техн. наук / М.В. Цупкина. – М.: ИПКОН РАН, 2024. – 170 с.

135. Чантурия, В. А., Шадрунова И. В., Горлова О. Е. Инновационные технологии глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов / В. А. Чантурия, И. В. Шадрунова, О. Е. Горлова // Материалы Международной науч.-практ. Конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов». – 2018. – С. 7-13.

136. Чантурия, В. А. Адаптация разделительных процессов обогащения полезных ископаемых к техногенному сырью: проблемы и решения / В. А. Чантурия, И. В. Шадрунова, О. Е. Горлова // Обогащение руд. – 2012. – № 5. – С. 43-49.

137. Чантурия, В. А. Инновационные процессы в технологиях переработки минерального сырья сложного вещественного состава / В. А. Чантурия // ГИАБ. – 2009. – С. 9-25.

138. Чантурия, В. А. Развитие технологических инноваций глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов / В. А. Чантурия, И. В. Шадрунова, О. Е. Горлова, Е. В. Колодежная // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2020. – Вып. 1. – С 159-171.

139. Чантурия, В. А. Технологическая оценка минерального сырья с помощью автоматического анализа изображений / В. А. Чантурия, Т. В. Башлыкова // Гор-

ный вестник. – 1998. – № 1. – С. 37-52.

140. Чантурия. В. А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России / В. А. Чантурия // Обогащение руд. – 2000. – № 6. – С. 3-8.

141. Черенцова, Д. Д. Оценка золошлаковых отходов как источника загрязнения окружающей среды и как источника вторичного сырья / Д. Д. Черенцова, С. М. Олесик // ГИАБ. Отдельный выпуск. – 2013. – № 3. – С. 230-243.

142. Череповицын А. Е. Анализ производства и потребления редкоземельных элементов в странах ЕС и БРИКС / А. Е. Череповицын, С. В. Федосеев, А. Б. Тесля, Е. Ю. Выболдина // Цветные металлы. – 2015. – № 5. – С. 5-9.

143. Ческидов, В. И. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твёрдых полезных ископаемых / В. И. Ческидов и др.; отв. ред. В. Н. Опарин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 250 с.

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

145. Шило, Н. А. Основы учения о россыпях. – 2-е изд. - М.: Наука, 1985. – 400 с.

146. Шуленина, З. М. Техногенные ресурсы России. Общие сведения: Справочник / З. М. Шуленина, Н. В. Анфилатова, Е. Н. Ковалева, и др. – М.: Геоинформмарк, 2001. – 199 с.

147. Шумилова, Л.В. Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства / Л. В. Шумилова, А. Н. Хатькова, К. К. Размахин, В. Г. Черкасов // Вестник ЗабГУ. – 2021. – Т. 27. – № 4. – С. 32-44.

148. Юн, А. Б. Разработка и обоснование параметров горнотехнической системы комплексного освоения Жезказганского месторождения в условиях восполнения выбывающих мощностей рудников: дис. ... доктор. техн. наук / А. Б. Юн. – М.: МИСиС, 2016. – 333 с.

149. Яковлев, В. Л. Систематизация условий размещения и освоения природных и техногенных объектов минерального сырья Уральского и Дальневосточного федеральных округов / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, Ю. В. Лаптев, Ю. А. Мамаев, А. П. Ван-Ван Е, Г.Ф. Склярова // ГИАБ (науч.-техн. журнал). – 2013. – № 4. – С. 257-272.

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