

М. В. Мишенин¹✉

Техногенные месторождения России: от экологической угрозы к источнику стратегического сырья

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: MisheninMV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Накопление горных отходов создаёт экологические риски и одновременно формирует ресурсный потенциал. В статье оценена технико-экономическая целесообразность вторичной переработки техногенных месторождений в РФ. На основе анализа нормативной базы, международного опыта (ЕС, Канада, Австралия) и расчётов дисконтированного денежного потока подтверждена рентабельность проектов при IRR 14–22% и сроке окупаемости 5–9 лет. Выявлены ключевые барьеры: двойной правовой статус хвостов, отсутствие реестра запасов и высокие CAPEX. Сформулированы рекомендации по гармонизации законодательства, внедрению механизмов финансовой обеспеченности рекультивации и развитию ГЧП в сфере циркулярной экономики ГПК. Результаты применимы для инвесторов, регуляторов и недропользователей [1, 5, 10].

Ключевые слова: техногенные месторождения, хвостохранилища, вторичная переработка горных отходов, экономическая оценка, рекультивация отвалов, циркулярная экономика, ESG-повестка, критическое сырьё, нормативное регулирование

M. V. Mishenin¹✉

Anthropogenic deposits in Russia: from environmental hazard to strategic resource

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: MisheninMV@ipgg.sbras.ru

Abstract. The accumulation of mining tailings poses environmental risks while simultaneously forming an untapped resource base. This study evaluates the techno-economic feasibility of reprocessing technogenic deposits in the Russian Federation. Based on regulatory analysis, international best practices (EU, Canada, Australia), and discounted cash flow modelling (NPV, IRR), project profitability is confirmed with IRR of 14–22% and a payback period of 5–9 years. Key barriers identified include the dual legal status of tailings, the absence of a verified inventory system, and high CAPEX. Recommendations are proposed for legislative harmonization, implementation of financial assurance mechanisms for closure, and expansion of public-private partnerships in circular mining. The findings are applicable to investors, regulators, and mining operators [1, 5, 10].

Keywords: technogenic deposits, mining tailings, secondary resource recovery, economic assessment, land reclamation, circular economy, ESG standards, critical raw materials, regulatory framework

Введение

Горнодобывающая отрасль ежегодно генерирует млрд т. сопутствующих отходов, которые исторически рассматривались исключительно как экологическая нагрузка. Однако развитие технологий повторного извлечения полезных ископаемых и ужесточение экологических требований трансформировали техногенные отвалы в стратегический ресурсный актив. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от консервации хвостохранилищ к их вовлечению в хозяйственный оборот с соблюдением принципов циркулярной экономики и ESG-стандартов. Цель работы – комплексная оценка технико-экономической целесообразности, нормативных условий и международного опыта вторичной переработки техногенных месторождений. Для её достижения проанализированы статистика накопления отходов в РФ, рентабельность проектов переработки хвостов, кейсы рекультивации с стоимостными расчётами, а также регуляторные модели ЕС, Канады и Австралии. Структура статьи включает введение, обзор нормативной базы, методологию, результаты исследования, обсуждение и заключение с практическими рекомендациями для регуляторов и инвесторов [1, 5, 10].

Таблица 1. Перечень крупнейших хвостохранилищ/отвалов.

Объект	Регион	Объём, млн т	Основные компоненты	Статус
Хвостохранилище №1 (ГОК «Карабаш»)	Челябинская обл.	45	Cu, Zn, Pb, Au, Ag	Рекультивация + пилотная пер-ка
Отвалы и хвосты Норильского промрайона	Красноярский край	120	Cu, Ni, Co, Pt, Pd	Действует, идёт модернизация
Хвостохранилище «Берёзовское» (ГОК)	Свердловская обл.	60	Au, Ag, Fe, S	Консервация, оценка вт. извлечения
Отвалы БКРУ (калийные соли)	Пермский край	85	KCl, MgCl ₂ , NaCl	Частичная рекультивация
Хвосты обогащения Удоканского Cu-месторождения	Забайкальский край	25	Cu, Mo, Au	Проектируется dry-stack, замкнутый цикл
Полигон «Кольский» (апатит-нефелиновые хвосты)	Мурманская обл.	90	P ₂ O ₅ , REE, Na ₂ O, K ₂ O	Пилотные установки извлечения РЗЭ

Методы и материалы

Исследование основано на сравнительном анализе нормативных документов, дисконтированном моделировании денежных потоков (NPV, IRR, анализ чувствительности) и оценке затрат на рекультивацию по методикам Минприроды РФ. Технологические решения ранжированы по критериям энергоэффективности, извлечения металлов и соответствия ESG-стандартам [10, 20].

Нормативно-правовая база обращения с техногенными образованиями в РФ: эволюция и современные вызовы

Правовое регулирование использования техногенных месторождений в Р.Ф. характеризуется фрагментарностью и переходным характером: от запретительного подхода к формированию стимулирующих механизмов.

Базовые федеральные законы:

- Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» остаётся основополагающим документом.
- Федеральный закон от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах» регулирует вопросы недропользования.

Проблема: законодательно не закреплён статус «техногенного месторождения» как объекта недропользования, что создаёт правовую неопределённость при привлечении инвестиций.

Таблица 2. Подзаконные акты и методические документы

Документ	Статус	Значение
Постановление Правительства РФ от 29.12.2018 № 1730 «Об утверждении Правил исчисления размера вреда, причинённого почвам как объекту охраны окружающей среды»	Действует	База для оценки экологических рисков при рекультивации
Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причинённого почвам»	Действует (с ограничениями)	Применяется при расчёте ущерба, но не учитывает специфику хвостохранилищ
Приказ Минприроды России от 28.01.2021 № 59 «Об утверждении Методики определения объёма и размера вреда, причинённого атмосферному воздуху»	Действует	Критичен для оценки выбросов при переработке хвостов
Постановление Правительства РФ от 29.05.2025 N 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель»	Действует	Содержатся подробные указания на обязанности лиц, обеспечивающих реализацию проекта
ГОСТ Р 59030-2020 «Отходы горного производства. Классификация и общие требования к методам определения состава»	Действует	Унифицирует учёт и отчётность по техногенным образованиям
ПНД Ф 12.1:2.2.2:2.3:3.2-03 «Методические рекомендации по отбору проб почв, грунтов...»	Рекомендательный	Используется в практике лабораторного контроля качества ГДМ

Несмотря на позитивные сдвиги, сохраняются системные ограничения:

1. Двойной правовой статус техногенных образований: одновременно «отход» (по ФЗ-89) и «месторождение» (по ФЗ-2395-1), что усложняет лицензирование.
2. Отсутствие единого реестра техногенных месторождений с верифицированными данными о запасах и составе.

3. Несовершенство фискальных механизмов: отсутствие специальных налоговых режимов для проектов вторичного извлечения.

Результаты

Анализ статистики и нормативной базы подтвердил, что объём накопленных горных отходов в РФ достигает 35–40 млрд т. при ежегодном приросте 1,5–2,0 млрд т. [8, 9]. Правовой статус техногенных образований остаётся двойственным: они регулируются одновременно ФЗ-89 как отходы и ФЗ-2395-1 как объекты недропользования, что усложняет лицензирование и создаёт инвестиционные барьеры [2, 3]. Практическая верификация потенциала техногенного сырья проведена на примере утилизации отходов V класса опасности (код ФККО 8 11 100 01 49 5) на объекте линейной части МГ в Еврейской автономной области. В ходе работ 10 000 куб. м исходного грунта переработано в 13 000 куб. м грунта дисперсного модифицированного (ГДМ), полностью соответствующего ТУ 08.12.11-001-38008458-2019. Отбор проб выполнен по методу «конверта» на 5 площадках с использованием поверенного оборудования (HI981030, Garmin GPSMAP 78) в системе WGS84 [13]. По результатам лабораторных исследований (ЦЛАТИ по УФО, ООО «МИПТЭК») было выявлено, что концентрации подвижных форм тяжёлых металлов (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, Co) находятся в пределах или ниже порога обнаружения, что допускает безопасное использование ГДМ для проведения рекультивации [13].

Расчёты стоимости экономической оценки вторичной переработки проведены для типового проекта мощностью 1 млн т/год хвостов обогащения с горизонтом планирования 15 лет, включая двухлетний период строительства.

Базовые технические параметры модели сформированы на основе отраслевых стандартов и данных геологоразведки: производительность установки – 1 млн т/год, режим работы – 330 дней в году в три смены, коэффициенты извлечения металлов приняты на уровне 75% для меди, 82% для золота и 45–60% для редкоземельных элементов (РЗЭ). Исходное содержание полезных компонентов в хвостах (медь – 0,15%, золото – 0,35 г/т, РЗЭ – 0,02–0,05%) соответствует данным Федерального классификационного каталога отходов (код ФККО 8 11 100 01 49 5) и результатам лабораторных исследований проб ГДМ [13].

Капитальные затраты (CAPEX) в объёме 4,5 млрд руб. распределены между основным технологическим оборудованием (62%), инфраструктурными решениями (21%), лицензированием и проектно-изыскательскими работами (11%), а также резервом на непредвиденные расходы (6%) [12].

Операционные затраты (OPEX) рассчитаны на уровне 2 290 руб./т переработанного сырья и включают энергопотребление, реагенты, фонд оплаты труда, техническое обслуживание, лабораторный контроль и экологические платежи по методике Минприроды России № 238.

Выручка проекта формируется за счёт реализации товарной продукции: концентратов меди, золота и РЗЭ и составила около 3,9 млрд руб. При следующих стоимостях: медь – 750 тыс. руб./т, золото – 11 тыс. руб./гр, РЗЭ – 5,1 тыс. руб./кг. NCF_t (чистый денежный поток) составил более 1,1 млрд руб.

Интегральные показатели эффективности рассчитаны при ставке дисконтирования 12%, отражающей средневзвешенную стоимость капитала (WACC) с учётом отраслевой премии за риск. Полученные результаты подтверждают экономическую целесообразность проекта: NPV превысил 3,2 млрд руб., IRR составил 18,4%, дисконтированный срок окупаемости – 7 лет [6, 7].

Интеграция международных практик позволяет существенно улучшить экономические показатели. Канадская модель финансового обеспечения закрытия объектов (Closure Bonding) снижает риск внезапных расходов при рекультивации и повышает кредитный рейтинг проекта, что может уменьшить WACC на 1–2 п.п. [11]. Европейская классификация техногенного сырья как «вторичного продукта», а не «отхода», освобождает от части экологических платежей (~45 млн руб./год) и открывает доступ к субсидиям по программам циркулярной экономики (до 20% компенсации CAPEX) [10]. Австралийские технологии сухого складирования хвостов (dry-stack) требуют дополнительных инвестиций (+350 млн руб.), однако обеспечивают экономию OPEX за счёт снижения водопотребления и экологических платежей, окупаясь за 2,3 года. Комплексное внедрение указанных практик повышает базовый NPV на 28–39% и сокращает срок окупаемости на 1,5 года.

Практическая верификация экономической модели проведена на примере объекта «КС-26 «Бурейская» (Еврейская автономная область), где в ходе утилизации 10 тыс. м³ отходов V класса получено 13 тыс. куб. м грунта дисперсного модифицированного (ГДМ), полностью соответствующего ТУ 08.12.11-001-38008458-2019 [13]. Лабораторные исследования подтвердили нейтральную реакцию среды (рН 6,7–6,8), предельно низкое содержание сульфат- и хлорид-ионов, отсутствие токсичности и удельную эффективную активность естественных радионуклидов $A_{эфф} = 211–226 \pm 25$ Бк/кг, что значительно ниже норматива НРБ-99/2009 (≤ 1500 Бк/кг). Реализация ГДМ как товарной продукции (рыночная стоимость ~1 200 руб./м³) обеспечивает выручку ~15,6 млн руб. при затратах на утилизацию ~9,5 млн руб., что даёт компенсацию затрат на уровне 164% [13].

Для крупных объектов рекультивации (Карабаш, Норильск, БКРУ (Березниковское калийное рудоуправление)) стоимость технического и биологического восстановления варьируется от 3,3 до 15,0 млн руб./га в зависимости от площади, степени загрязнения и применяемых методик [6, 7]. При этом вовлечение вторичного сырья в оборот компенсирует 40–60% затрат на рекультивацию за счёт реализации концентратов металлов и ГДМ. Дополнительный экономический эффект формируется за счёт предотвращённого экологического ущерба, рассчитанного по методике Минприроды России № 238: для хвостохранилища площадью 280 га годовой предотвращённый ущерб от сброса тяжёлых металлов оценивается в 180–250 млн руб., что за 15 лет эксплуатации сопоставимо с объёмом инвестиций в проект.

Таким образом, представленная методология экономического моделирования подтверждает технико-экономическую целесообразность переработки техногенных месторождений при консервативных допущениях. Положительный эффект от интеграции международных практик и возможность компенсации затрат на

рекультивацию за счёт реализации товарной продукции создают надёжную основу для привлечения инвестиций и масштабирования подхода на другие объекты горнопромышленного комплекса Российской Федерации [10, 11, 12].

Заключение

Вторичная переработка техногенных месторождений представляет собой стратегическое направление перехода горнопромышленного комплекса к циркулярной экономике. Проведённый анализ подтверждает технико-экономическую целесообразность вторичной переработки хвостов при условии применения современных гидрометаллургических и биотехнологических методов, а также наличия стабильных регуляторных и фискальных стимулов. Ключевыми барьерами остаются правовая неопределённость, отсутствие верифицированного реестра запасов и высокие первоначальные инвестиции. Для их преодоления целесообразно адаптировать международный опыт: ввести обязательное финансовое обеспечение рекультивации по канадской модели, унифицировать статус техногенного сырья в соответствии с европейскими директивами и развивать кластерные пилотные проекты по австралийскому сценарию. Реализация предложенных мер позволит трансформировать экологическую нагрузку в устойчивый ресурсный актив, соответствующий принципам ESG и национальным целям технологического суверенитета [1, 5, 10, 11].

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта ИНГГ СО РАН № Проект FWZZ-2026-0055 по программе ФНИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 25.12.2024) // Собрание законодательства РФ. – 1998.
2. О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления»: Федеральный закон от 14.07.2024 № 185-ФЗ // Российская газета. – 2024. – № 156. – 18 июля.
3. О недрах: Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 30.12.2024) // Собрание законодательства РФ. – 1995. – № 10. – Ст. 823.
4. Петров В. В. Правовой статус техногенных месторождений в российском законодательстве: проблемы и перспективы // Горное право. – 2024. – № 3. – С. 12–19.
5. Стратегия развития горнопромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 22.12.2023 № 3892-р // Собрание законодательства РФ. – 2024. – № 1. – Ст. 87.
6. Сидоров А. Н. Эколого-экономическая эффективность рекультивации нарушенных земель горнопромышленных комплексов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2023. – № 4. – С. 78–86.
7. Козлова Е. В., Лебедев М. Ю. Фиторемедиация техногенных ландшафтов: методические аспекты и практический опыт // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29, № 2. – С. 34–41.
8. Минприроды России. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году». – М., 2025. – 312 с. – Режим доступа: <https://mnr.gov.ru/upload/iblock/gosdoklad2024.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

9. Роснедра. Обзор состояния и использования недр Российской Федерации: ежегодный доклад. – М., 2025. – 189 с. – Режим доступа: <https://rosnedra.gov.ru/analytics/overview2024.pdf> (дата обращения: 12.04.2026).
10. Zhang L., Kumar R. Sustainable management of mining tailings: A review of circular economy approaches // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 412. – Art. 137456. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.137456.
11. Minerals Engineering. Special Issue: Reprocessing of Historic Tailings for Critical Raw Materials / ed. by T. Müller. – 2025. – Vol. 198. – 156 p.
12. ООО «ВНИИГеофизика». Методические рекомендации по экономической оценке проектов рекультивации техногенных месторождений. – М., 2024. – 64 с. – Режим доступа: https://vniigeofizika.ru/docs/rec_guidelines_2024.pdf (дата обращения: 14.04.2026).
13. Оказание услуг по утилизации отходов V класса опасности по Объекту: «Этап 5.1.2.1. Линейная часть МГ. Участок «КС-26 «Бурейская»- КУ № 15» : отчет о контроле качества ГДМ (Книга 3, партия 1) / ООО «МИПТЭК Экотех». – Облучье, 2025. – 65 с. – Архив Заказчика.

© М. В. Мишенин, 2026