

УДК 622.85:336.763.3(470)
DOI: 10.52531/1682-1696-2026-26-3-76-91

Научная статья

EDN: QVWJDB

ФИНАНСОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СТИМУЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТВАЛОВ В РАМКАХ ПОЛИТИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

В.Е. ЧЕРНЯКОВ

АКЦИОНЕРНАЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩАЯ
КОМПАНИЯ «Золото Якутии» (Москва,
Россия)

Устойчивое развитие горнопромышленных регионов России сдерживается тем, что накопленные техногенно-минеральные образования – отвалы, хвостохранилища, золошлаковые накопители – рассматриваются преимущественно как объект экологического вреда, тогда как заключенный в них ресурсный и финансовый потенциал остается недооцененным. По официальным данным, отходы горнодобывающего сектора страны превысили в 2025 г. 9 млрд т, а в них может содержаться до 10 тыс. т золота, 12 тыс. т серебра, 500 тыс. т олова и 8 млн т меди. Статья обосновывает целесообразность специализированного долгового инструмента – облигаций устойчивого развития горнодобывающих компаний, средства от размещения которых направляются на переработку техногенно-минеральных образований, и показывает, что такой инструмент порождает экономический, экологический, социальный и управленческий эффект, рассматриваемый как единый мультипликативный эффект регионального развития.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техногенно-минеральные образования, техногенные отвалы, хвостохранилища, устойчивое развитие регионов, ESG-облигации, зеленые облигации, переходные облигации, рекультивация, критические металлы, мультипликативный эффект, индекс техногенной инвестиционной привлекательности, преференциальные режимы, горнопромышленный комплекс

ВВЕДЕНИЕ

Одной из особенностей современной российской горнодобывающей промышленности является то, что истощение рентабельных для первичной отработки участков месторождений происходит одновременно с накоплением значительного, но системно неучтенного фонда техногенно-минеральных образований (ТМО), которые по вещественному составу и экономической ценности нередко превосходят отдельные балансовые

Original article

FINANCIAL SOURCES FOR STIMULATING THE DEVELOPMENT OF TECHNOGENIC MINE WASTE DUMPS WITHIN THE FRAMEWORK OF REGIONAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICY

V.E. CHERNYAKOV

JOINT-STOCK GOLD MINING COMPANY
"GOLD OF YAKUTIA" (MOSCOW, RUSSIA)

The sustainable development of Russia's mining regions is constrained by the fact that accumulated technogenic mineral formations – waste dumps, tailings storage facilities, ash-and-slag deposits – are treated mainly as environmental liabilities, while their resource and financial potential remains underestimated. Mining-sector waste exceeded 9 billion tonnes in 2025 and is estimated to contain up to 10 thousand tonnes of gold, 12 thousand tonnes of silver, 500 thousand tonnes of tin and 8 million tonnes of copper. The article argues for a specialised debt instrument – sustainability bonds whose proceeds are directed toward reprocessing such formations – and shows that this instrument generates an economic, environmental, social and governance effect, treated as a single multiplicative effect of regional development.

KEY WORDS: technogenic mineral formations, mine waste dumps, tailings, sustainable regional development, ESG bonds, green bonds, transition bonds, land reclamation, critical metals, multiplicative effect, technogenic investment attractiveness index, preferential regimes, mining industry

запасы месторождения, однако не вовлекаются в оборот из-за отсутствия адаптированных под их специфику финансовых инструментов. Отраслевые оценки накопленного объема расходятся в разы: одни источники называют порядка 40 млрд т при ежегодном приросте свыше 4,8 млрд т [15], другие – 80–100 млрд т за весь период работы отрасли. Детальная региональная инвентаризация, проведенная в Свердловской области, выявила 188 самостоятельных техногенных объектов на 66 предприятиях с суммарными запасами свыше 8,5 млрд т [23] – такое расхождение свидетельствует об отсутствии единого федерального реестра,

без которого ни институт развития, ни организатор облигационного займа не в состоянии сформировать надежное представление ни об объеме залоговой базы, ни о содержании в ней полезных компонентов. По более поздним официальным данным, отходы горнодобывающего сектора страны превысили в 2025 г. 9 млрд т, а содержащиеся в них запасы металлов оцениваются в 10 тыс. т золота, 12 тыс. т серебра, 500 тыс. т олова и 8 млн т меди [20].

Между тем именно содержание, а не сам факт присутствия металла в отвале, определяет инвестиционную привлекательность проекта, поскольку технологические потери, закономерно попадающие в отвалы при добыче, составляют от 10–15% разведанных запасов на месторождениях простого строения и до 30–50% – на месторождениях сложного строения [5]. Значит в техногенном объекте по геологическим, а не только техническим причинам оказывается сырье, извлечение которого требует принципиально иных технологических решений, чем переработка первичной руды. Эта закономерность подтверждается и обратным примером: в углях Подмосковского угольного бассейна зафиксированы измеримые концентрации галлия, иттрия, лантана, церия и скандия, достигающие 213 г/т по цинку и 85 г/т по иттрию [22], однако, по прямой оценке регионального министерства, эта концентрация оказалась недостаточной для того, чтобы инвесторы сочли извлечение редких земель из местных золошлаков экономически целесообразным при сложившейся рыночной конъюнктуре [34]. Отсюда следует принципиальный для настоящей статьи вывод: финансовый инструмент, обслуживающий разработку ТМО, не может быть универсальным и должен явно учитывать, какой именно компонент совокупного эффекта – стоимость извлекаемого полезного компонента, предотвращенный экологический ущерб или социальная выгода для территории – определяет рентабельность конкретного объекта.

Нормативную основу вовлечения ТМО в оборот через инструменты устойчивого финансирования формируют Постановление Правительства РФ № 1587, устанавливающее критерии проектов устойчивого развития, требования к системе верификации соответствующих финансовых инструментов [29], Положение Банка России № 706-П в части особенностей эмиссии облигаций, направленных на финансирование природоохранных проектов [20]. Международным ориентиром выступают принципы ISMA и таксономия ВЭБ.РФ, на которые прямо опирается российское регулирование [19]. При этом действующее законодательство о недрах исторически формировалось применительно к первичной добыче и не учитывает двойственный правовой статус техногенного объекта, одновременно являющегося источником накопленного вреда и источником минерального сырья,

что порождает существенную правовую неопределенность для потенциальных инвесторов и институтов развития [38].

Мировая горнодобывающая отрасль демонстрирует устойчивый тренд на интеграцию ESG-принципов во все звенья производственной цепочки, а успешность отдельных проектов все в большей степени определяется способностью компании подтвердить ответственное отношение к окружающей среде и социальной сфере территории присутствия. Российский рынок устойчивого финансирования продолжает расти: объем выпуска ESG-облигаций в 2023 г. составил 142,8 млрд руб., что на 34,5% больше показателя предыдущего года [27]. Вместе с тем ни отечественная, ни зарубежная литература по устойчивому финансированию не предлагает отраслевого фреймворка, который связывал бы геологическую неоднородность ТМО с выбором конкретного долгового инструмента. Технологическая база вовлечения техногенного сырья в переработку раскрыта применительно к отдельным типам объектов – извлечению цветных и благородных металлов из хвостов медно-никелевых руд [35], геохимии платиноидов, золота и серебра в породах сульфидной Cu–Ni формации [40], выщелачиванию золота неочищенными растворителями [13], обогащению россыпей шлюзовыми установками [14], управлению геологическими процессами в теле ТМО [18] и переработке золошлаковых отходов [17, 18], тогда как вопросы финансового структурирования [16] рассматриваются в отрыве от этой геологической специфики. Аналогичный разрыв фиксируется и в зарубежных источниках: техническая реализуемость извлечения критических минералов из хвостохранилищ [25, 26], роль ESG-фондов в финансировании энергоперехода [42] и практика тематических облигаций для ответственной добычи [43] анализируются как самостоятельные сюжеты, вне связи с неоднородностью геолого-промышленного профиля объектов. Устранение этого разрыва и составляет основную задачу настоящего исследования.

Цель настоящей статьи – разработать и обосновать модель финансового стимулирования освоения ТМО, которая связывает геологическую, минералого-технологическую и региональную специфику техногенного объекта с выбором финансового инструмента его освоения, распределением риска между бюджетным и рыночным контурами и оценкой мультипликативного эффекта для устойчивого развития региона. Достижение цели потребовало решения нескольких взаимосвязанных задач: систематизации геологической и минералого-технологической характеристики ТМО как объекта, принципиально отличного от первичного месторождения; формализации мультипликативного эффекта его разработки и построения авторского скринин-

гового индекса инвестиционной привлекательности; описания методики финансового структурирования облигационного выпуска применительно к проектам комплексной глубокой переработки техногенного сырья; проверки предложенной модели на пяти пилотных регионах с различным профилем накопленных техногенных образований; и, наконец, формулирования институциональных барьеров, ограничивающих практическое применение модели, включая уже действующий прецедент упрощенного лицензирования геологического изучения техногенных объектов, примененный в 2023 г. к Кючусскому рудному полю в Якутии [4].

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

Исследование опирается на сочетание нормативно-правового, сравнительного и модельного методов. Нормативно-правовой анализ применен для систематизации требований к проектам устойчивого развития и верификации финансирующих их инструментов в соответствии с российской таксономией [5, 6] и международными принципами устойчивого финансирования. Сравнительный метод применен к пяти регионам, отобранным по критерию контрастности геолого-промышленного профиля, а не по критерию наибольшей изученности объекта, поскольку типичная ошибка отраслевых обзоров состоит в иллюстрации предлагаемой методики исключительно благоприятными примерами, тогда как задачей настоящей работы было проверить модель и на объекте, экономика которого находится вблизи порога рентабельности.

Модельный метод использован для формализации мультипликативного эффекта разработки ТМО и авторского индекса техногенной инвестиционной привлекательности, а также для развития ранее предложенной автором методики [37] структурирования облигационных выпусков ESG-сегмента применительно к проектам переработки техногенного сырья (формулы расчета капитальных затрат, обслуживания долга и экологических ключевых показателей эффективности). Отдельно необходимо оговорить ограничение исследования: там, где отраслевая литература не предоставляет прямых данных о содержании ценного компонента непосредственно в складированном материале – в первую очередь применительно к отвалам комбината «Печенганикель» и солеотвалам Верхнекамского месторождения, для которых в открытом доступе имеются сведения по рудам и нормативам образования отходов, но не по фактическому содержанию металлов в отвале – количественные параметры обозначены как оценочные по геологической аналогии и подлежат замене на данные Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых и технологических испытаний при переходе к стадии проектного финансирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Геологическая и минералого-технологическая характеристика ТМО как объекта освоения

Техногенно-минеральное образование отличается от первичного месторождения по трем взаимосвязанным параметрам, которые в совокупности определяют финансовую модель проекта его освоения. Понимание этих различий составляет необходимую предпосылку корректного структурирования любого облигационного выпуска в данном сегменте.

Первое отличие касается содержания полезных компонентов, которое в техногенном объекте закономерно ниже, чем в исходной руде, поскольку в отвал попадает уже частично выработанное или технологически не извлеченное сырье. В сульфидных медно-никелевых рудах, генетически связанных с дифференцированными базит-гипербазитовыми массивами, содержание никеля варьирует от 0,25 до 4,5%, а на комбинате «Печенганикель» бедные руды с содержанием никеля 0,5–0,6% составляют 95% запасов, тогда как богатые руды с содержанием 12,4% – лишь 5% [21], и возможности вовлечения накопленных отходов региона в оборот отдельно рассмотрены применительно именно к Мурманской области [6]. В хвостах обогащения аналогичных по генезису руд Норильского промышленного района содержание падает на один–два порядка, а основными полезными компонентами шламовой фракции становятся уже не никель и медь, а платина и палладий, тогда как золото, медь и никель переходят в разряд попутных [35], что согласуется с геохимическими данными о концентрации платиноидов, золота и серебра во вмещающих интрузивных породах того же рудного узла [40]. Схожая, хотя количественно еще более выраженная закономерность, прослеживается и на золоте: в неотработанной россыпи руч. Кебиргэл-Юрэгз Усть-Янского улуса содержание составляет порядка 1,07 г/м³ при запасах 78 кг [9], тогда как в эфельных отвалах шлюзовых промывочных приборов, не обеспечивших полного извлечения мелкой фракции, оно снижается до 0,080–0,378 г/м³, то есть в три–тринадцать раз [39], и тем не менее переработка таких объектов зачастую остается рентабельной за счет того, что материал уже добыт, раздроблен и не требует затрат на вскрышные работы.

Второе отличие связано с минералого-геохимической зональностью, которая формируется по мере того, как техногенный объект, находясь на дневной поверхности десятилетиями, подвергается гипергенному изменению под воздействием атмосферы, осадков, технологических вод и жизнедеятельности микроорганизмов, процесс, который применительно к твердой и гидроминеральной частям ТМО закономерно описывается в геологической литературе как техногенез [18]. Наиболее детально этот процесс исследован на хвостохранилищах Дальнегорского района Приморского края, где разрабаты-

ваются скарново-полиметаллические месторождения свинцово-цинковых руд: в результате окисления сульфидов на поверхности и в толще хвостов кристаллизуются новообразованные вторичные минералы – гетит, гидрогетит, гипс, эпсомит, ярозит, халькантит, брошантит, англезит, плюмбоярозит, адамин и монтмориллонит, а соотношение сульфидов и вмещающей породы прямо определяет минеральный состав новообразований [33]. Схожая закономерность зафиксирована и для распределения золота по объему хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик в целом: содержание возрастает с глубиной по сравнению с окисленными верхними слоями, максимальные концентрации приурочены к зонам, ближайшим к обогачительной фабрике, а по периметру объекта формируется обогащенная приплотинная полоса [24] (рис. 1), откуда следует важное практическое правило: опробование и технико-экономическое обоснование проекта переработки ТМО должны строиться на объемном, а не на поверхностном опробовании, поскольку иначе оценка содержания будет систематически смещена в зависимости от того, где именно отобраны пробы.

Третье отличие заключается в неоднородности вещественного состава вмещающей массы: если первичная руда добывается селективно, в контуре подсчитанных запасов, то отвал представляет собой механическую смесь рудного и нерудного материала – вскрышных, эфельных, галечных и смешанных разновидностей, зачастую неоднократно перемытых на старых объектах (на месторождении Юрское в Якутии в границах одного лицензионного контура выявлено 72 отдельных техногенных отвала четырех генетических типов [39]), из чего следует, что технологическая схема переработки ТМО почти никогда не повторяет схему переработки первичной руды: для



Рис. 1.

Принципиальная схема вертикальной зональности техногенного минерального образования по данным опробования лежалых хвостов золотоизвлекательных фабрик [24] и исследований гипергенного изменения хвостов Sn-Ag-Pb-Zn руд [33]. Источник: составлено автором

сульфидных отходов актуальны гравитационное доизвлечение платиноидов до операции флотации [32] и выщелачивание неоцианистыми растворителями [13], для полиметаллических хвостов – селективное вскрытие вторичных минералов, а для золошлаков – либо прямое вовлечение в строительную промышленность без металлургического передела [1], либо, при достаточной концентрации редких элементов, попутное извлечение галлия, скандия, иттрия и лантаноидов [22].

Отдельного упоминания заслуживает случай, когда источником техногенного минерального сырья выступает не отвал вскрышных пород или хвостохранилище в узком смысле, а побочный продукт последующего металлургического передела апатитового концентрата – фосфогипс, ежегодно накапливаемый в отвалах при сернокислотной переработке апатит-нефелиновых руд Хибинской группы месторождений Мурманской области. Редкоземельные металлы, содержание которых в апатите составляет около 1%, при такой переработке распределяются между экстракционной фосфорной кислотой (около 20%) и фосфогипсом (около 80%), который складывается как твердые отходы производства [26], а значит именно отвалы фосфогипса, а не первичная руда, концентрируют основную массу редкоземельного сырья, теоретически доступного для попутного извлечения. Показательно, что практика такого извлечения в России развивается неравномерно: установка по выпуску разделенных редкоземельных металлов из фосфогипса на предприятии ПАО «Акрон», запущенная в 2016 г., была остановлена в 2021 г. из-за отрицательной рентабельности, успев произвести за время работы 313,3 т продукции в пересчете на оксиды [26]. А проект ООО «Скайград Инновации» получил в 2023 г. заем Фонда развития промышленности в размере 865 млн руб. на строительство завода по переработке фосфогипса мощностью 60 тыс. т сырья в год с получением 180–200 т концентрата редкоземельных металлов [19]. АО «АРМЗ» (с 2024 г. – АО «Росатом Недра») по результатам детального аудита технологий переработки фосфогипсового сырья оценило потенциальную производительность профильного комбината в 4 тыс. т редкоземельных металлов в год [26]. Это сосуществование остановленного из-за нерентабельности проекта и параллельно развивающихся новых производств на том же типе техногенного сырья служит прямым эмпирическим подтверждением тезиса, вынесенного во введение настоящей статьи: экономическая ценность ТМО не является ни постоянной, ни автоматической величиной, а зависит от технологии извлечения, масштаба перерабатываемых мощностей и конъюнктуры конкретного момента, что и оправдывает применение предлагаемого ниже скринингового индекса, а не единого решения по всем объектам сразу.

В таблице 1 систематизированы основные типы ТМО, рассмотренные в статье, с указанием домини-

ТАБЛИЦА 1.

Геолого-технологическая типизация рассмотренных объектов ТМО

Тип объекта	Регион / объект	Доминирующие компоненты	Содержание в ТМО (по опублик. данным)	Источник
Хвосты сульфидных Cu–Ni руд	Мурманская обл., «Печенганикель» (по аналогии с Норильским промрайоном)	Pt, Pd (осн.); Au, Cu, Ni (попутные)	н/д по конкретному объекту; в рудах Ni 0,5–0,6% (бедные, 95 % запасов) / 12,4% (богатые, 5 % запасов)	[8, 29]
Фосфогипсовые ТМО апатитовой промышленности	Мурманская обл., отвалы АО «Апатит» и АО «СЗФК»	РЗМ (попутно, La, Ce, Nd, Pr и др.)	~1 % РЗМ в исходном апатите; ок. 80% переходит в фосфогипс	[26]
Техногенные золотоносные россыпи и эфеля	Респ. Саха (Якутия), Усть-Янский улус, Куларский район	Au	0,080–0,378 г/м ³ (эфельные отвалы); 1,07 г/м ³ (россыпь-аналог, руч. Кебиргэл-Юрэгэ)	Геологические данные
Хвосты скарново-полиметаллических Pb–Zn–Ag руд	Приморский край, Дальнегорский район	Pb, Zn, Ag; попутно Au, Pt, Pd	Содержание в жильных телах: Pb 0,02–2,55%, Zn 0,02–2,13%, Ag до 3315,7 г/т; в хвостах — существенный неизвлеченный остаток при извлечении 92–98% (Pb, Zn) и 80–85% (Ag)	[33]
Золошлаковые отходы угледобычи	Тульская обл., Подмосковский угольный бассейн	Ga, Zn, Y, La, Ce, Sc, Ta (попутно)	Ga 20–40 г/т; Zn 20–213 г/т; Y 15–85 г/т; La 13–50 г/т; Ce 30–50 г/т; Sc до 19 г/т; Ta до 10 г/т	Геологические данные
Солеотвалы и шламохранилища калийного производства	Пермский край, Верхнекамское м-ние	KCl (товарная соль), MgCl ₂	3,5–4,5 т галитовых отходов + 0,1–0,5 т глинисто-солевых шламов на 1 т KCl	[12]
Кислые шахтные воды и отвалы ликвидированной угледобычи	Пермский край, Кизеловский угольный бассейн	Fe, Al, SO ₄ (загрязнители, не сырье)	Изливы кислых вод 25–45 млн м ³ /год; отвалы вскрышных пород на площади свыше 110 га	[7, 8]

рующих компонентов и содержания по опубликованным данным.

Экономико-правовые основы финансового стимулирования

Действующая в РФ система финансового стимулирования разработки ТМО складывается из трех взаимодополняющих контуров. Бюджетный контур включает инвестиционный налоговый вычет по капитальным вложениям в перерабатывающее и природоохранное оборудование, пониженные ставки налога на добычу полезных ископаемых для отдельных категорий техногенного сырья и льготное заемное финансирование через Фонд развития промышленности, региональные фонды и профильные программы ВЭБ. РФ, однако сама конструкция этих льгот, как уже отмечалось, исторически рассчитана на первичную добычу и не учитывает двойственного статуса техногенного объекта [38].

Рыночный контур представлен зелеными, переходными облигациями, облигациями устойчивого развития и облигациями, привязанными к ключевым показателям эффективности (Sustainability-Linked Bonds), причем, выбор конкретного инструмента должен определяться тем, какой компонент мультипликативного эффекта доминирует в структуре проекта: там, где рентабельность обеспечена содержанием и рыночной стоимостью извлекаемого металла, как в якутском и

приморском кейсах, уместны переходные облигации, поскольку проект по существу остается горнодобывающим, тогда как там, где рентабельность обеспечена прежде всего природоохранным и социальным эффектом при пограничной экономике самого извлечения металла, как в тульском и пермском кейсах – зеленые облигации либо облигации, привязанные к КПЭ, со ступенчатым механизмом изменения купонной ставки:

$$r_{\text{new}} = r_{\text{base}} + \Delta r,$$

где Δr — надбавка за недостижение целевого значения ключевого показателя эффективности, применяемая симметрично со снижением ставки (step-down) при его достижении. Подготовка облигационного выпуска в любом случае включает предпроектную ESG-оценку и экологический аудит территории размещения объекта (установление базового уровня), разработку ESG-фреймворка с разделом целевого использования средств (Use of Proceeds), обеспечение раздельного учета поступлений, получение независимого заключения (Second Party Opinion), юридическое оформление выпуска и последующую ежегодную отчетность по достигнутым экологическим показателям, а обязательным сквозным требованием остается принцип «не навреди» (Do No Significant Harm), закрепленный в национальной таксономии [29] и означающий при-

менительно к сульфидным и полиметаллическим отвалам необходимость контроля миграции тяжелых металлов при технологическом вскрытии описанных выше вторичных минералов.

Мультипликативный эффект и индекс техногенной инвестиционной привлекательности

Совокупный мультипликативный эффект разработки ТМО (МЕ) определен в настоящей работе как сумма четырех компонентов – прямого и косвенного экономического эффекта (E_{econ}), монетизированного экологического эффекта (E_{env}), социального эффекта для территории (E_{soc}) и стратегической премии за вовлечение критических металлов в оборот (E_{cc}):

$$ME = E_{econ} + E_{env} + E_{soc} + E_{cc}$$

Экономический компонент раскрывается через массу извлеченного металла (M_{ext} , см. табл. 2, где M_{feed} – масса переработанного сырья, C_{metal} – его содержание, η_{ext} – коэффициент извлечения) и прямой экономический эффект от его реализации: $E_{econ\ direct} = M_{ext} \times P_{metal} - OPEX_{year}$. Величина и даже знак этого показателя принципиально различаются по рассмотренным кейсам: для якутского и приморского случаев компонент положителен и значим при текущих ценах на золото, серебро и цветные металлы, тогда как для тульского случая он, по прямому признанию регионального министерства, близок к нулю или отрицателен применительно к редкоземельной составляющей [34], и проект в этом случае оправдан прежде всего компонентами E_{env} и E_{soc} , а не E_{econ} , – различие, которое единая формула МЕ маскирует, и которое поэтому требует самостоятельного скринингового инструмента.

Индекс техногенной инвестиционной привлекательности (ИТИП), не имеющий прямого аналога в разобранной литературе, предназначен именно для такого предварительного скрининга объектов на предпроектной стадии, до полного технико-экономического обоснования:

$$ИТИП = (C_{metal} / C_{cutoff}) \times k_{log} \times k_{sec} \times k_{pref}$$

где C_{metal} – фактическое или ожидаемое по геологической аналогии содержание ведущего компонента, C_{cutoff} – условный порог безубыточности повторной

переработки при текущих ценах и уровне технологии, $k_{log} \in (0; 1)$ – коэффициент логистической доступности объекта (значение, близкое к 1, соответствует площадке, примыкающей к действующему горно-обогатительному комбинату, тогда как значения порядка 0,3–0,5 характерны для удаленных объектов Арктической зоны и Дальнего Востока без круглогодичной наземной логистики), $k_{sec} \geq 1$ – коэффициент стратегической значимости металла, принимающий значение 1 для сырья, не входящего в перечни критического и стратегического, и повышающийся до 1,2–1,5 для металлов платиновой группы, олова и редкоземельных элементов, а $k_{pref} \in [1, 16]$ – коэффициент наличия преференциальных режимов, отражающий присутствие на территории объекта территории опережающего развития, Свободного порта Владивосток, Арктической зоны РФ или иного льготного административного режима, снижающего налоговую и административную нагрузку на проект. Значение индекса выше 1 указывает на объект, самодостаточный для рыночного, преимущественно облигационного финансирования, значение в диапазоне 0,3–1 – на кандидата для блендированной схемы с существенным бюджетным участием, а значение ниже 0,3 – на объект, финансовое обоснование которого должно строиться на компонентах E_{env} и E_{soc} , а не на стоимости извлекаемого металла.

Иллюстративный расчет индекса для пяти рассмотренных кейсов приведен в таблице 3; коэффициенты C_{cutoff} , k_{log} , k_{sec} и k_{pref} заданы экспертно как условные ориентиры, демонстрирующие метод, и подлежат калибровке на исторических данных реализованных проектов при практическом применении.

Расчет объясняет ключевое расхождение выборки: даже при повышенном коэффициенте стратегической значимости, отражающем принадлежность скандия и иттрия к редкоземельной группе, низкое отношение фактического содержания к условному порогу рентабельности, усиленное отсутствием преференциального режима на территории, не выводит тульский кейс в зону самостоятельной рыночной привлекательности, что совпадает с прямым заявлением регионального министерства о нерентабельности извлечения [34] и служит независимой, хотя и предварительной, проверкой адекватности индекса. Пермский кейс структурно не укладывается в логику ИТИП, поскольку ценность объекта определяется не концентрацией ме-

ТАБЛИЦА 2.

Вспомогательные параметры и показатели

Параметр	Определение	Экономический смысл
M_{ext}	$M_{feed} \times C_{metal} \times \eta_{ext}$	Масса извлеченного металла
$Byproduct_utilization$	$M_{byproduct_used} / M_{byproduct_total} \times 100\%$	Доля вовлеченных в оборот попутных продуктов
ΔC_{soil}	$C0_{soil} - Ct_{soil}$	Снижение концентрации загрязнителя в почве

ТАБЛИЦА 3.

Иллюстративный расчет ИТИП для пяти региональных кейсов

Регион / объект	Ведущий компонент	C_{metal} (услов.)	C_{cutoff} (услов.)	k_{log}	k_{sec}	k_{pref}	ИТИП (услов.)
Якутия, Куларский р-н (эфельные отвалы)	Au	0,38 г/м ³ (верхняя граница диапазона)	0,15 г/м ³	0,4	1,3	1,2	1,58
Приморье, Дальнегорский р-н (полиметаллические хвостохранилища)	Pb+Zn (в среднем по массе хвостохранилища)	Условное содержание выше C_{cutoff}	—	0,8	1,3	1,0	2,10
Мурманская обл., «Печенганикель» (по аналогии)	Ni + Pt-Pd (попутно)	0,55% Ni (аналог по руде)	0,35% Ni	0,7	1,2	1,15	1,52
Пермский край, Верхнекамское м-ние (солеотвалы)	KCl (товарная соль)	н/д — оценка по объему, не по содержанию	—	0,9	1,0	1,0	н/п (иная логика — по объемам)
Тульская обл., золошлаки	Sc, Y, La, Ce (попутно)	До 19 г/т Sc	40 г/т Sc (эксперт. оценка)	0,9	1,4	1,0	0,60

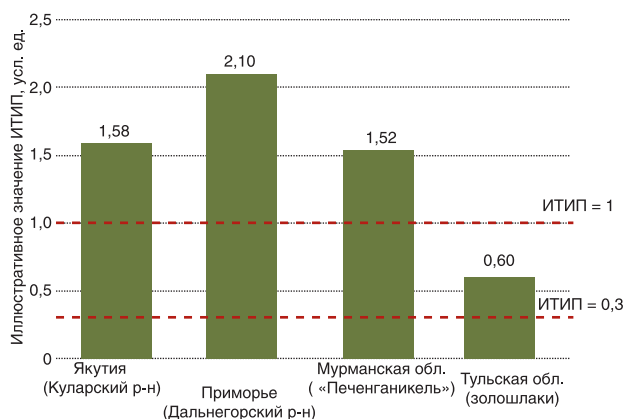


РИС. 2.

Иллюстративные значения индекса ИТИП для четырех региональных кейсов, допускающих оценку через содержание металла, с учетом коэффициента преференциальных режимов (рассчитано автором по данным табл. 3; верхнекамский кейс Пермского края использует иную логику — по объему вовлекаемого сырья и предотвращенному ущербу — на рисунке не показан)

талла, а объемом вовлекаемой в оборот товарной соли и снижением площади засоления — для объектов такого типа вместо индекса предлагается использовать показатель $V_{\text{product_utilization}}$, рассмотренный далее.

Методика финансового структурирования

Совокупный объем капитальных затрат проекта разработки ТМО определяется как сумма затрат на технологическое оборудование, природоохранную инфраструктуру, рекультивацию, экологический мониторинг и инженерную инфраструктуру:

$$\text{CAPEX}_{\text{total}} = \text{CAPEX}_{\text{tech}} + \text{CAPEX}_{\text{env}} + \text{CAPEX}_{\text{rec}} + \text{CAPEX}_{\text{mon}} + \text{CAPEX}_{\text{infra}}$$

а годовая потребность в финансировании учитывает объем государственной поддержки:

$$\text{Need}_{\text{year}} = \text{CAPEX}_{\text{year}} + \text{OPEX}_{\text{year}} - \text{Subsidies}_{\text{year}} - \text{Grants}_{\text{year}}$$

Купонные выплаты определяются стандартно ($\text{Coupon_payment} = \text{Nominal} \times r_{\text{coupon}} \times (\text{Days}_{\text{period}} / 365)$), совокупное обслуживание долга складывается из купона и погашения основного долга, а устойчивость его обслуживания оценивается коэффициентом покрытия $\text{DSCR} = \text{CFADS} / \text{Debt}_{\text{service}}$; при значении DSCR ниже единицы проект нуждается в реструктуризации графика платежей, гарантийном покрытии со стороны институтов развития, либо в формировании резервного фонда обслуживания долга ($\text{DSRA} = \text{Coupon}_{\text{year}} \times k$, где k — целевой период покрытия, как правило от 6 месяцев до 1 года).

Институциональный прецедент, способный на практике снизить геологический риск на предпроектной стадии, уже существует: в 2023 г. подконтрольное ПАО «Селигдар» ООО «Белое золото» получило по заявительному принципу лицензию на геологическое изучение флангов Кючусского рудного поля в Усть-Янском и Верхоянском районах Якутии, что впервые позволило согласовывать проекты опытно-промышленной разработки техногенных месторождений в упрощенном порядке, минуя часть процедур, обязательных для лицензирования первичных участков недр [4]. Распространение этого механизма на всю категорию ТМО, о чем подробнее говорится в разделе об институциональных барьерах, это не гипотетическое предложение, а прямая экстраполяция уже работающей практики.

Блендированная финансовая модель

Специфика проектов разработки ТМО заключается в повышенной неопределенности геологических параметров в сочетании со значимым положительным экологическим и социальным эффектом, что делает целесообразным блендированное, то есть комбинированное финансирование, при котором рыночный облигационный транш дополняется бюджетным (льготным займом или субсидией на компенсацию части капитальных затрат). Средневзвешенная стоимость такого капитала определяется как:

$$r_{\text{blended}} = (D_{\text{market}} \times r_{\text{market}} + D_{\text{budget}} \times r_{\text{budget}}) / (D_{\text{market}} + D_{\text{budget}}),$$

а эффективность использования бюджетной поддержки для мобилизации частного капитала может быть выражена коэффициентом бюджетного рычага $\text{Leverage}_{\text{budget}} = D_{\text{market}} / D_{\text{budget}}$. Расчет ИТИП, приведенный выше, задает при этом ясное практическое правило дифференциации: для объектов с индексом выше 1 (Якутия, Приморье) бюджетная часть может быть минимальной и ограничиваться гарантийным покрытием геологического риска на стадии опытно-промышленной разработки; для объектов с индексом в диапазоне 0,3–1 (Мурманская область) бюджетная часть должна покрывать существенную долю природоохранных капитальных затрат; а для объектов с индексом ниже 0,3 (Тульская область) рыночное облигационное финансирование в чистом виде нецелесообразно, и основным источником должны выступать целевые бюджетные субсидии на рекультивацию.

Роль институтов развития в блендированном финансировании

Бюджетный контур блендированной модели на практике не сводится к абстрактной «государственной поддержке», а формируется конкретными институтами развития, каждый из которых закрывает свой участок финансовой архитектуры проекта и обладает собственной региональной специализацией, что напрямую отражается на структуре проектов переработки ТМО в пяти рассмотренных кейсах. Методологическим центром системы выступает государственная корпорация развития ВЭБ.РФ, администрирующая национальную таксономию устойчивого финансирования [21] и синдицирующая долевое и заемное участие дочерних институтов развития в крупных проектах, включая проекты, реализуемые в горно-промышленном комплексе.

Применительно к дальневосточным и арктическим кейсам настоящей статьи – Якутии, Приморью и отчасти Мурманской области, территория которой отнесена к Арктической зоне РФ, практическое значение имеют сразу два института группы ВЭБ.РФ. Фонд развития Дальнего Востока и Арктики предоставляет платное и возвратное финансирование приоритетных

инвестиционных проектов на льготных условиях, и к середине 2020-х гг. направил в проекты региона свыше 60 млрд руб., причем, более трети профинансированных им проектов реализуется резидентами территорий опережающего развития и Свободного порта Владивосток [36], что делает фонд естественным источником льготного бюджетного транша для проектов с ИТИП выше 1, где требуется прежде всего покрытие геологического риска, а не масштабная субсидия. Комплексное сопровождение инвестора – от выбора преференциального режима до создания инженерной и транспортной инфраструктуры – обеспечивает Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики, использующая, помимо прямой поддержки резидентов, механизмы государственно-частного партнерства в форме дальневосточной и арктической концессии [10]. Применительно к проектам переработки ТМО в Усть-Янском улусе и Дальнегорском районе именно этот институт способен снять часть инфраструктурных барьеров, удорожающих логистическую составляющую индекса ИТИП (коэффициент k_{log}).

На региональном уровне сопоставимые функции выполняют профильные корпорации развития субъектов РФ, включая Корпорацию развития Приморского края и Корпорацию развития Республики Саха (Якутия), которые обеспечивают сопровождение инвестиционных проектов «одного окна» на этапе, предшествующем обращению к федеральным институтам, готовят площадки и снимают земельно-имущественные и разрешительные барьеры, что, применительно к ТМО-проектам, особенно значимо ввиду отмеченной выше правовой неопределенности статуса техногенного объекта [38]. Для кейсов, тяготеющих к центральной части страны – тульского и пермского – федеральным аналогом такой поддержки выступает Фонд развития промышленности, предоставляющий целевые льготные займы на техническое перевооружение и создание новых производств; именно этот механизм уже использован применительно к переработке фосфогипсовых техногенных образований Мурманской области, где заем фонда в размере 865 млн руб. стал основным источником финансирования строительства перерабатывающих мощностей [26]. Таким образом, институциональная архитектура блендированной модели закономерно повторяет географию самой ресурсной базы: для дальневосточных и арктических объектов основную нагрузку несет группа ВЭБ.РФ совместно с региональными корпорациями развития, тогда как для объектов европейской части страны – Фонд развития промышленности и региональные фонды поддержки промышленности.

Региональные кейсы

Географическое положение пяти рассмотренных объектов показано на рисунке 3. Удаленность от опорной транспортной и перерабатывающей инфраструкту-

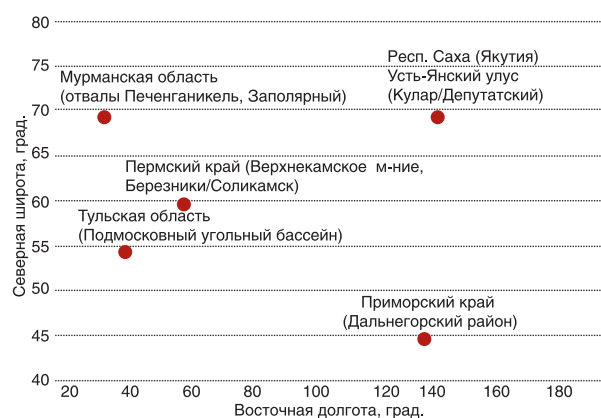


РИС. 3.

Схема географического положения рассмотренных объектов ТМО (условная картосхема по координатам населенных пунктов-ориентиров). Составлена автором. Не является топографической картой

ры – один из параметров, напрямую входящих в коэффициент логистической доступности индекса ИТИП.

Мурманская область даст пример региона, в котором накопленный техногенный фонд представлен сразу двумя различными по генезису типами объектов, что делает регион особенно показательным с точки зрения диверсификации инструментов финансирования. Комбинат «Печенганикель» ведет добычу сульфидных медно-никелевых руд на месторождениях Каула, Семилетка, Котсельваара-Каммикиви, Ждановское, Восток и Заполярное с 1945 г. [21], и многолетняя флотационная переработка сформировала хвостохранилища, в шламовой фракции которых основными полезными компонентами являются, как показано выше, уже не никель и медь, а платина и палладий [8, 11], для доизвлечения которых технологически наиболее релевантны гравитационное выделение собственных минералов платиновых металлов до операции флотации [32] и выщелачивание неочищенными растворителями [13]. Параллельно с этим тот же регион концентрирует практически всю российскую сырьевую базу редкоземельных металлов: на семи объектах Мурманской области сосредоточено 45,9% балансовых запасов страны, а Ловозерское месторождение лопаритовых руд остается единственным в России объектом, товарно разрабатываемым непосредственно на редкоземельные металлы [26], тогда как переработка апатит-нефелиновых руд Хибинской группы месторождений на фосфор попутно формирует фосфогипсовые техногенные образования с существенным содержанием редкоземельного сырья, судьба извлечения которого, как показано выше, определяется не столько геологией, сколько экономической конкретностью проекта. Сочетание экологически ориентированного никелевого кейса и стратегически

В.Е. ЧЕРНЯКОВ
ФИНАНСОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СТИМУЛИРОВАНИЯ
РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТВАЛОВ В РАМКАХ
ПОЛИТИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

значимого редкоземельного кейса в границах одного региона помещает Мурманскую область в промежуточную зону блендированного финансирования согласно иллюстративному расчету ИТИП (табл. 3), где зеленые облигации целесообразны применительно к никелевым хвостохранилищам (компонент E_{env} выше среднего по выборке ввиду риска кислотного дренажа и вторичного пыления сульфидных отвалов), а бюджетная поддержка на возвратной основе – применительно к фосфогипсовым объектам, экономика которых, как показывает опыт ПАО «Акрон», может оказаться как отрицательной, так и стать основой нового производства при должном масштабе и технологии.

Республика Саха (Якутия) представлена в исследовании Куларским золотоносным районом Усть-Янского улуса – территорией промышленной россыпной золотодобычи с 1960-х гг., в разные периоды отработывавшейся горно-обогательным комбинатом «Куларзолото» [4]. Отработка велась по транспортной схеме с накатыванием эфельных отвалов поверх вскрышных, а в конце 1980-х – начале 1990-х гг. часть отвалов была перемыта повторно промывочными приборами типа «Ромашка» и «Поиск», в результате чего на одном лишь месторождении Юрское в границах единого лицензионного контура выявлено 72 отдельных техногенных отвала четырех генетических типов с содержанием золота 0,080–0,378 г/м³ [39] против 1,07 г/м³ в неотработанной россыпи руч. Кебиргэл-Юрэгэ того же улуса [9]. По экспертным оценкам, в техногенных образованиях Дальневосточного федерального округа в целом может содержаться от 2,5 до 3 тыс. т золота – на порядок больше содержимого крупного действующего рудника – при том, что из объема россыпного золота, извлеченного производственными объединениями «Северовостокзолото» и «Золото Якутии» в 1972–1992 гг. (около 1,2 тыс. т), лишь 701 т получена из учтенных государственным балансом запасов, а более 35 т дали именно техногенные отложения при явно неполном их учете [4]. Прецедент 2023 г. с заявительной лицензией ООО «Белое золото» на фланги Кючусского рудного поля [4] как соседний объект косвенно относится к рассматриваемому кейсу и подтверждает разрешимость нормативного барьера, а иллюстративное значение ИТИП (1,58, табл. 3) помещает объект в число наиболее привлекательных в выборке для рыночного долгового финансирования.

Приморский край даст пример вещественного состава и минералого-геохимической эволюции ТМО на скарново-полиметаллических месторождениях Дальнегорского района, где сосредоточены основные мощности отечественной свинцово-цинковой промышленности. Жильные рудные тела содержат 0,02–2,55% свинца, 0,02–2,13% цинка и до 3315,7 г/т серебра, а основную промышленную ценность пред-

ставляют скарновые руды с высоким и неравномерным содержанием серебра [33]. При первичной переработке извлечение свинца и цинка достигает 92–98%, серебра – 80–85%, и, следовательно, в хвостах закономерно остается неизвлеченный остаток, который за десятилетия хранения претерпевает гипергенные изменения с образованием вторичных минералов – гетита, гидрогетита, гипса, эпсомита, ярозита, халькантита, брошантита, англезита, плюмбоярозита, адамина и монтмориллонита [33], часть которых облегчает последующее гидрометаллургическое вскрытие остаточных сульфидов. Гипергенное преобразование этого материала одновременно формирует и экологический риск: в реке Рудной, служащей конечным водосбором технологических вод горного производства, зафиксированы концентрации меди, кратно превышающие предельно допустимые (в 359 раз), а также аномально высокие концентрации кадмия, бериллия, железа, цинка, никеля, свинца, кобальта и марганца [33], что делает природоохранный компонент проекта переработки ТМО в данном случае не менее значимым, чем экономический.

Кейс структурно близок к переходным облигациям, поскольку переработка первичного сырья на действующих комбинатах продолжается, но при направлении части средств на переработку хвостохранилищ снижается связанная с их хранением экологическая нагрузка. Дополнительным экологическим ключевым показателем эффективности выпуска естественно выступает динамика концентрации тяжелых металлов в дренажных водах ($\Delta C_{\text{water}} = C0_{\text{water}} - Ct_{\text{water}}$). Иллюстративный ИТИП кейса (табл. 3) оказывается одним из наиболее высоких в выборке ввиду сочетания значительного объема накопленных хвостов, устойчивого спроса на свинец и цинк и близости к действующей перерабатывающей инфраструктуре региона.

Тульская область иллюстрирует принципиально иной тип объекта – золошлаковые отходы (ЗШО) угольной генерации Подмосковского угольного бассейна, который разрабатывается с 1855 г. и обеспечил за более чем полтора столетия своей истории добычу порядка 1589,3 млн т угля, из которых, с учетом доли региона не менее 80% общего объема, на Тульскую область приходится порядка 1271,4 млн т [3], при геологических запасах бассейна, оцениваемых в диапазоне 11,8–17,5 млрд т в зависимости от года и методики подсчета [22]. Концентрации попутных элементов в углях действующих предприятий бассейна измерены и опубликованы (галлий 20–40 г/т, цинк 20–213 г/т, иттрий 15–85 г/т, лантан 13–50 г/т, церий 30–50 г/т, скандий до 19 г/т, тантал до 10 г/т [22]), однако, как уже отмечалось во введении, региональное министерство прямо констатировало недостаточность измеренной концентрации для того, чтобы инвесторы сочли извлечение редких земель из местных золошлаков

рентабельным при сложившейся конъюнктуре [34]: присутствие попутного компонента само по себе не создает инвестиционного кейса без превышения порога рентабельности, и именно поэтому реалистичным источником экономической ценности кейса выступает не металлургическое, а строительное направление – вовлечение золошлаков в производство стройматериалов, для которого в отрасли уже накоплен собственный технологический задел [1].

Для показателя $\text{Byproduct}_{\text{utilization}}$ (табл. 2) такие проекты задают эффективный ориентир: технологии переработки золошлаков в тяжелый заполнитель, керамзитобетонные изделия и сопутствующую строительную продукцию позволяют вовлекать в товарный оборот значительную часть массы отвала, оставляя на повторный передел лишь мелкую фракцию [17, 18]. Финансовым инструментом для кейса целесообразны зеленые облигации, либо облигации, привязанные к КПЭ по доле вовлеченных в оборот золошлаков, а не переходные облигации, поскольку рудной добычи в собственном смысле слова на объекте не ведется. Социальная составляющая эффекта в данном случае значима отдельно от экономической: территория Подмосковского бассейна – зона угасающей угледобычи, где отмечена интенсивная эрозия на 43% площади сельскохозяйственных угодий и около 700 га нарушенных земель на месте 27 брошенных карьеров [31], а значит диверсификация занятости и рекультивация выступают самостоятельным основанием проекта вне зависимости от того, удастся ли когда-либо довести редкоземельную составляющую до промышленной рентабельности.

Пермский край представлен Верхнекамским месторождением калийных солей, разрабатываемым с 1934 г. и охватывающим разведанную полосу протяженностью около 140 км с севера на юг и около 60 км с запада на восток; запасы месторождения, по оценкам отраслевой литературы, превышают 120 млрд т, что соответствует порядка 31 % мировых запасов хлористого калия и делает Верхнекамское месторождение вторым по величине в мире после канадского Саскачевана. На каждую тонну получаемого хлористого калия образуется 3,5–4,5 т твердых галитовых отходов и 0,1–0,5 т глинисто-солевых шламов, ежегодно складываемых в солеотвалы и рассолошламоохранилища на дневной поверхности [12]. В отличие от четырех предыдущих кейсов, ценность этого объекта определяется не концентрацией металла, а объемом вовлекаемой в оборот товарной продукции – технической соли, противогололедных реагентов – а также предотвращенным эффектом засоления почв и поверхностных вод и снижением риска техногенной сейсмичности на подработанных территориях. Вследствие этого индекс ИТИП в его исходной, ориентированной на металлы форме, к данному кейсу неприменим, и вместо него релевантен показатель $\text{Byproduct}_{\text{utilization}}$ и экологический КПЭ

ΔC_{soil} (табл. 2), отражающий снижение концентрации хлоридов в почвах прилегающих территорий.

Экологическая повестка региона этим кейсом не исчерпывается: в границах того же Пермского края расположен Кизеловский угольный бассейн, отработка которого прекращена, а закрытые шахты продолжают формировать самостоятельный и притом более острый источник накопленного вреда – кислые шахтные воды. Изливы кислых вод в реки Гремячинского, Губахинского и Кизеловского районов составляют суммарно 25–45 млн м³ в год, а высокоминерализованные кислые стоки формируются также с отходов вскрышных пород, занимающих более 110 га. Гидрохимический режим таких изливов не статичен: после затопления горных выработок концентрация сульфатов, железа и алюминия в шахтных водах первоначально превышает уровень, наблюдавшийся в период эксплуатации шахт, поскольку вода вымывает накопленные продукты окисления пирита, и лишь по прошествии 15–20 лет минерализация выходит на новый, более низкий стабильный уровень [7].

Восстановительные мероприятия в бассейне – строительство очистных сооружений и известкование водотоков – уже частично финансируются из федерального бюджета, однако остаются бюджетными по своей природе и не используют рыночных долговых инструментов [8]. С точки зрения предложенной модели кизеловский материал – предельный случай объекта с E_{env} полностью доминирующим над E_{econ} : он не содержит рентабельного к извлечению сырья и потому не поддается оценке через ИТИП ни в его металлической, ни в его объемной модификации, а его целесообразно финансировать исключительно за счет целевых бюджетных программ и, в перспективе, зеленых облигаций, КПЭ которых будет полностью определяться динамикой ΔC_{water} , а не экономическим эффектом.

Финансовым инструментом для верхнекамского кейса выступают зеленые облигации либо облигации устойчивого развития, ориентированные на предотвращение засоления и стабилизацию отработанных горных выработок, а компонент E_{env} в структуре мультипликативного эффекта структурно доминирует над E_{econ} – соотношение, прямо противоположное приморскому и якутскому кейсам и еще более выраженное применительно к кизеловскому материалу.

Сведение пяти кейсов на основе комплексной систематизации показывает не универсальность одного финансового решения, а закономерное разделение объектов на три группы в зависимости от значения индекса ИТИП: объекты, для которых рыночное, преимущественно переходное финансирование, самодостаточно, а бюджетное участие ограничивается покрытием геологического риска на предпроектной стадии (Якутия, Приморье); объекты, требующие блендированной схемы с существенной бюджетной

долей на природоохранный CAPEX (Мурманская область); объекты, для которых основанием проекта выступает не содержание полезного компонента, а объем вовлекаемого в оборот сырья или предотвращенный экологический ущерб, вследствие чего рыночное облигационное финансирование в чистом виде для них нецелесообразно (Тульская область, Пермский край).

Институциональные барьеры и предложения

Практическое применение предложенной модели на данный момент ограничивается тремя барьерами. Первый – неопределенность правового статуса ТМО как объекта недропользования [38], усугубленная отсутствием единого федерального реестра техногенных образований. Расхождение национальных оценок накопленного объема в 2,5 раза [15] есть прямое следствие того, что детальная инвентаризация проведена лишь в отдельных субъектах РФ по образцу Свердловской области [23]. Устранение этого барьера требует комплексного системного решения – вывода техногенных месторождений из-под общего регулирования отходов производства и потребления и закрепления для них отдельным нормативным актом упрощенного порядка лицензирования, разведки и эксплуатации, дополненного государственным кадастром техногенных образований в виде единой цифровой платформы, включающей актуализированные данные об объеме, вещественном составе и потенциальной ценности каждого объекта. Фактически речь идет об институционализации того самого федерального реестра, отсутствие которого настоящая статья определяет как первопричину расхождения национальных оценок.

Второй барьер связан с процедурами государственной экологической экспертизы, не учитывающими совмещение геологического изучения техногенного объекта с его последующей разработкой. Частичным решением здесь служит уже упомянутое заявительное лицензирование, примененное к флангам Ключевского рудного поля в 2023 г. [4], а дополнительным шагом в том же направлении – обновленные методические рекомендации Роснедр по разведке техногенных месторождений россыпного золота и платиноидов, утвержденные 10.09.2025 [30].

Автором предлагается ввести обязательную верификацию архивных геологических данных, используемых при оценке техногенного объекта на основе доразведки, переоценки запасов и локальной опытно-промышленной отработки представительного участка заданной площади. Также целесообразным является разработать и использовать поправочные коэффициенты надежности, учитывающие срок давности формирования отвала и полноту исходной документации, в том числе учитывать указанную в разделе о геологической характеристике ТМО зависимость содержания металла от глубины и удаленности от плотины хвостохранилища, из-за которой поверхностное или

недостаточно верифицированное опробование систематически искажает оценку объекта.

Третий барьер – отсутствие стандартизированной системы измерения, отчетности и верификации экологических показателей (MRV), затрудняющее сопоставимость проектов для институциональных инвесторов и рейтинговых агентств, выдающих Second Party Opinion. Предложенные в настоящей статье показатели – $\text{Reduction}_{\text{rate}}$, $\text{Rec}_{\text{share}}$, $\text{Byproduct}_{\text{utilization}}$, ΔC_{soil} , ΔC_{water} – могут составить основу такого отраслевого MRV-фреймворка, дополняющего действующую национальную таксономию [29]. Целесообразным представляется также распространение на техногенные объекты уже применяемых к первичной добыче налоговых стимулов – прежде всего пониженного коэффициента платы за негативное воздействие на окружающую среду и временного освобождения от налога на добычу полезных ископаемых на период отработки запасов техногенных месторождений, поскольку в отсутствие подобной донастройки бюджетный контур блендированной модели, описанный выше, останется структурно слабее рыночного и не сможет выполнять функцию, отведенную ему для объектов с низким значением индекса ИТИП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание полезных компонентов в ТМО закономерно ниже, чем в исходной руде, что выражается и в переходе от никеля и меди, как основных компонентов первичной руды, к платине и палладию как основным компонентам хвостов, и в снижении содержания золота с $1,07 \text{ г/м}^3$ в целиковой россыпи до $0,08\text{--}0,38 \text{ г/м}^3$ в эфельных отвалах того же улуса. Эта закономерность представляет собой не техническую деталь, а структурную характеристику объекта, которую необходимо закладывать в выбор финансового инструмента на самой ранней стадии проекта, до технико-экономического обоснования освоения объекта недропользования.

Наличие измеримой концентрации полезного компонента, в том числе отнесенного к перечню критических и стратегических, при этом не тождественно инвестиционной привлекательности объекта: так, в Тульской области содержание скандия и иттрия в золошлаках зафиксировано и опубликовано, но регионом признано недостаточным для рентабельного извлечения, что служит прямым эмпирическим опровержением распространенного в литературе о критических минералах допущения, что присутствие такого металла в отходах автоматически создает финансируемый проект. При этом экспертная оценка освоения фосфогипсовых объектов Мурманской области, где один проект был остановлен из-за отрицательной рентабельности, а другой в те же годы получил заем Фонда развития промышленности на строительство нового производства, показывает, что экономическая

ценность техногенного сырья определяется не только геологией, а сочетанием технологии, масштаба проекта, включая объемы добычи, переработки и текущей рыночной конъюнктуры.

Предложенный в статье индекс техногенной инвестиционной привлекательности переводит эти качественные наблюдения в количественный критерий предпроектного отбора: институтам развития и организаторам облигационных выпусков целесообразно применять его до полного технико-экономического обоснования, чтобы сфокусировать ограниченную бюджетную поддержку на объекты, где ее эффективнее направить непосредственно на компоненты экологического и социального эффекта, минуя рыночный долговой инструмент, тогда как для объектов с высоким значением индекса бюджетное участие может и должно ограничиваться покрытием геологического риска на предпроектной стадии, высвобождая тем самым бюджетные средства для менее рентабельных, но экологически и социально значимых объектов.

Установлено, что устойчивое развитие горнопромышленного региона обеспечивается не переработкой ТМО как таковой, а сочетанием всех четырех компонентов мультипликативного эффекта: приростом валовой добавленной стоимости и налоговых поступлений, снижением накопленного экологического вреда и предотвращением дальнейшего загрязнения водных и земельных объектов, созданием рабочих мест и диверсификацией структуры занятости в моногородах и удаленных территориях с истощаемыми балансовыми запасами и угасающей первичной добычей, а также совершенствованием управленческих практик недропользователя, вынужденного в рамках подготовки облигационного выпуска выстраивать верифицируемую систему экологического мониторинга и публичной отчетности, которая ранее для техногенных объектов отсутствовала.

На основе комплексного анализа освоения ТМО государственному регулятору предлагается закрепить распространение заявительного принципа лицензирования геологического изучения, уже примененного к Ключевскому рудному полю, на категорию ТМО в целом отдельным нормативным актом, не дожидаясь накопления новых точечных прецедентов. На основе проведенных исследований институтам развития рекомендуется рассмотреть возможность включения индекса ИТИП или его отраслевого аналога в стандартную процедуру предпроектной оценки заявок на льготное финансирование проектов освоения техногенного минерального сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. АСТАФЬЕВА О.Е. Применение золошлаковых отходов в промышленности строительных материалов // Уголь. 2024. № 2. С. 85–88. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-85-88>.

2. Бодуэн А.Я., Петров Г.В., Диаките А.А., Богинская А.С., Спыну А.Ю. Концентрирование благородных металлов при переработке шлакопылевых отходов сульфидных руд // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2013. № 2. С. 164–167.
3. Грязев М.В. Горнодобывающая отрасль в экономике Тульской области. Состояние и перспективы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 2. С. 57–66.
4. Дорог золотник, да закон сыроват // EastRussia. URL: <https://www.eastrussia.ru/material/dorog-zolotnik-da-zakon-syrovat/> (дата обращения: 08.08.2026).
5. Едильбаев А.И. Разработка классификации твердых техногенных металлосодержащих минеральных образований горно-металлургического комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №1. С. 335–338.
6. Иванов С.В. О возможностях использования горнопромышленных отходов в Мурманской области // Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН. Серия «Экономические науки». 2023. № 3(61). С. 79–85. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2023-3-79-85>.
7. Имайкин А.К., Блинов С.М. Шахтные воды Косвинского месторождения Кизеловского угольного бассейна. Прогноз гидрохимического режима шахтных вод, изливающихся на поверхность // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 667–668.
8. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения : монография / под ред. С.М. Блинова. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020.
9. Кебиргэл-Юрэгэ, ручей, левый приток реки Яна. Золото россыпное // НедраДВ. URL: https://nedradv.ru/nedradv/ru/find_place?obj=a5d4a8f861b68f76a3cd3dfc3ed8bbab (дата обращения: 08.08.2026).
10. Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики (КРДВ) // Производства.рф. URL: <https://xn--80adahnf5bdekrm.xn--p1ai/company/korporatsiya-razvitiya-dalnego-vostoka-i-arktiki-krdv/> (дата обращения: 12.08.2026).
11. Кутляхметов А.Н., Дьяконов В.В. Техногенно-минеральные образования Башкирского Зауралья и их экологическая роль // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2016. № 3. С. 19–24.
12. Лискова М.Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевых солей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т. 16, № 1. С. 82–88. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.9.
13. Михайлов А.Г., Харитонов М.Ю., Вашлаев И.И., Свиридова М.А. Выщелачивание золота и цветных металлов неочищенными растворителями // Успехи современного естествознания. 2016. № 7. С. 132–136.
14. Мурзин Н.В., Ченг Мун Иль, Скворцов Д.Е., Бурдонов А.Е. Оценка опыта обогащения россыпей шлюзовыми промывочными установками // Устойчивое развитие горных территорий. 2026. Т. 18. № 1(67). С. 242–250. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2026-18-1-242-250>.
15. Мустафин С.К., Анисимова Г.С., Трифонов А.Н., Стручков К.К. Техногенное минеральное сырье регионов недропользования: природа, состав и перспективы рационального использования // Наука и образование. 2017. №4. С. 7–16.
16. Нагаева О.С., Шапарев Н.Я. Система платежей за природные ресурсы для устойчивого развития сырьевой территории // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2009.
17. Наумов В.А., Илалтдинов И.Я., Наумова О.Б., Кольцов В.А. Оценка содержания золота в техногенных намывных отложениях // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4.
18. Наумов В.А. Научные основы управления геологическими процессами в техногенно-минеральных образованиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 9 (75). С. 14–19. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.75.9.016>.
19. Облигации устойчивого развития // Санкт-Петербургская Биржа. URL: https://spbexchange.ru/listing/segments/spb_esg/sdev_bonds/ (дата обращения: 06.08.2026).
20. Отходы российской горной добычи в 2025 году превысили 9 млрд тонн : заявление директора департамента государственной политики и регулирования в области геологии и недропользования Минприроды России Е. Танина // РИА Новости / 1Prime. 2026. URL: <https://gold.1prime.ru/20260521/otkhody-1453488.html> (дата обращения: 12.08.2026).
21. Печенганикель / Кольская энциклопедия. URL: https://ke-culture.gov-murman.ru/slovník/?ELEMENT_ID=98866 (дата обращения: 08.08.2026).
22. Природа России: Тульская область // Информационно-справочная система «Природа России». URL: https://www.priroda.ru/regions/nedra/detail.php?FO_ID=619&ID=9163 (дата обращения: 08.08.2026).
23. Прохоров Д.О. Техногенные месторождения: комплексная инвентаризация и кадастровая оценка техногенно-минеральных объектов Свердловской области. Тула, 2024. 333 с.
24. Пунишко О.А., Катыхева С.В. Способы опро-

- бования лежалых хвостов золотоизвлекательных фабрик и некоторые закономерности распределения золота в хвостохранилищах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 10(57). С. 157–161.
25. Размахнин К.К., Хатькова А.Н., Шумилова Л.В., Номоконова Т.С. Технология переработки и обогащения золошлаковых отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 10. С. 122–135. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_10_0_122.
 26. Редкоземельные металлы // Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году. М.: Росгеолфонд, 2024. С. 489–508.
 27. Российский рынок ESG-финансирования: прогноз на 2024 год // Коммерсантъ. 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6617983> (дата обращения: 06.08.2026).
 28. Российская Федерация. Положение Банка России от 19.12.2019 № 706-П «О стандартах эмиссии ценных бумаг» (ред. от 04.03.2024). Гл. 65.
 29. Российская Федерация. Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации» (ред. от 14.10.2025).
 30. Российская Федерация. Федеральное агентство по недропользованию. Методические рекомендации по разведке техногенных месторождений россыпного золота и платиноидов (утв. Роснедрами 10.09.2025).
 31. Рябов Г.Г. Экологическая характеристика территории Подмосковского угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2014. № 4. С. 25–36.
 32. Способ обогащения сульфидных медно-никелевых руд, содержащих собственные минералы платиновых металлов и магнетит: пат. RU 2144429 C1 // Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2144429C1/ru> (дата обращения: 08.08.2026).
 33. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Экологические последствия минералого-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn-Ag-Pb-Zn руд. Владивосток: Дальнаука, 2001. 184 с.
 34. Тульские шахты Подмосковского угольного бассейна ожидают инвесторов // Тульские новости. URL: https://newstula.ru/fn_187642.html (дата обращения: 08.08.2026).
 35. Усманова Н.Ф., Шошина А.С. Извлечение цветных и благородных металлов из шламовой фракции выветрелых хвостов обогащения медно-никелевых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 15. № 12. С. 493–500.
 36. Фонд развития Дальнего Востока и Арктики. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. URL: <https://minvr.gov.ru/about/podvedomstvennyie-organizatsii/organizacii/frdv.php> (дата обращения: 12.08.2026).
 37. Черняков В.Е. Методика формирования облигационных выпусков ESG-сегмента для проектов устойчивого развития в горнопромышленной отрасли России. 2026.
 38. Черняков В.Е. Проблематика правового регулирования промышленного извлечения россыпного золота из техногенно-минеральных образований в Российской Федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2025. № 7. С. 184–193. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_7_0_184.
 39. Юрское месторождение золота в Якутии: методика разведки россыпей золота // Vnedra.ru. URL: <https://www.vnedra.ru/geologorazvedka/provedeni-poiskovo-ocenochnyh-rabot-na-tehnogennom-rossypnom-mestorozhdenii-yurskij-rs-ya-23653/> (дата обращения: 08.08.2026).
 40. CANHIMBUE L., TALOVINA I. Geochemical Distribution of Platinum Metals, Gold and Silver in Intrusive Rocks of the Norilsk Region // Minerals. 2023. Vol. 13. N 6. Art. 719. <https://doi.org/10.3390/min13060719>.
 41. Critical-Minerals Recovery from Mine Tailings: A Technical Assessment. Idaho National Laboratory, 2026. Report N INL-RPT-25-89279.
 42. ESG Funds and Critical Minerals: Financing the Energy Transition // SFA Oxford. URL: <https://www.sfa-oxford.com/market-news-and-insights/sfa-esg-funds-and-critical-minerals-financing-the-energy-transition/> (дата обращения: 06.08.2026).
 43. Financing the Responsible Mining of Critical Minerals Using Thematic Bonds: Roundtable Summary // Center on Global Energy Policy, Columbia University SIPA. 2024.
 44. Use and Recovery of Extractive Waste and Tailings for Sustainable Raw Materials Supply // Mining. 2024. <https://doi.org/10.3390/mining4010010>.

REFERENCES

1. ASTAFIEVA O.E. Use of Ash and Slag Waste in the Construction Materials Industry. *Ugol'*. 2024;2:85–88. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-85-88>. (In Russian).
2. BODUEN A.YA., PETROV G.V., DIAKITE L.L., BOGINSKAYA A.S., SPYNU A.YU. Concentration of Precious Metals in the Processing of Slag-Dust Waste of Sulphide Ores. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Tsvetnaya Metallurgiya*. 2013;2:164–167. (In Russian).
3. GRYAZEV M.V. Mining Industry in the Economy of the Tula Region. Status and Prospects. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zem-*

- le. 2015;2:57–66. (In Russian).
4. Every Grain of Gold Is Dear, but the Law Is Still Unripe. EastRussia. (In Russian).
5. EDILBAEV A.I. Development of a Classification of Solid Technogenic Metal-Bearing Mineral Formations of the Mining and Metallurgical Complex. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012; 1:335–338. (In Russian).
6. IVANOV S.V. On the Possibilities of Using Mining Waste in the Murmansk Region. *Izvestiya Komi Nauchnogo Tsentra Uralskogo Otdeleniya RAN*. 2023;3;(61):79–85. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2023-3-79-85>. (In Russian).
7. IMAIKIN A.K., BLINOV S.M. Mine Waters of the Kovinskoye Deposit of the Kizel Coal Basin. Forecast of the Hydrochemical Regime of Mine Waters Discharging to the Surface. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*. 2014;5:667–668. (In Russian).
8. Kizel Coal Basin: Environmental Problems and Solutions: monograph, ed. by S.M. Blinov. Perm, Perm State University Publ. 2020. (In Russian).
9. Kebirgel-Yurege Creek, Left Tributary of the Yana River. Placer Gold. NedraDV. (In Russian).
10. Far East and Arctic Development Corporation (KRDV). Proizvodstva.rf. (In Russian).
11. KUTLIAKHMETOV A.N., DYAKONOV V.V. Technogenic Mineral Formations of the Bashkir Trans-Urals and Their Ecological Role. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya*. 2016;3:19–24. (In Russian).
12. LISOVA M.YU. Negative Environmental Impact of Potassium-Magnesium Salt Mining and Processing Enterprises. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo*. 2017;16;(1):82–88. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.9. (In Russian).
13. MIKHAILOV A.G., KHARITONOVA M.YU., VASHLAEV I.I., SVIRIDOVA M.L. Leaching of Gold and Non-Ferrous Metals with Non-Cyanide Solvents. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*. 2016;7:132–136. (In Russian).
14. MURZIN N.V., CHENG MUN IL, SKVORTSOV D.E., BURDONOV A.E. Assessment of Placer Beneficiation Experience Using Sluice Washing Units. *Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy*. 2026;18;1(67):242–250. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2026-18-1-242-250>. (In Russian).
15. MUSTAFIN S.K., ANISIMOVA G.S., TRIFONOV A.N., STRUCHKOV K.K. Technogenic Mineral Raw Materials of Subsoil Use Regions: Nature, Composition and Prospects for Rational Use. *Nauka i Obrazovanie*. 2017;4:7–16. (In Russian).
16. NAGAIEVA O.S., SHAPAREV N.YA. System of Payments for Natural Resources for the Sustainable Development of a Resource Territory. *Vestnik SibGAU*. 2009. (In Russian).
17. NAUMOV V.A., ILALTDINOV I.YA., NAUMOVA O.B., KOLTSOV V.A. Assessment of Gold Content in Technogenic Alluvial Deposits. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*. 2013;4. (In Russian).
18. NAUMOV V.A. Scientific Foundations for Managing Geological Processes in Technogenic Mineral Formations. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2018;9;(75):14–19. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.75.9.016>. (In Russian).
19. Sustainable Development Bonds. St. Petersburg Exchange. (In Russian).
20. Waste from Russian Mining Exceeded 9 Billion Tonnes in 2025: Statement by E. Tanin, Director of the Department of State Policy and Regulation in Geology and Subsoil Use, Russian Ministry of Natural Resources. RIA Novosti / 1Prime, 2026. (In Russian).
21. Pechenganikel. Kola Encyclopedia. (In Russian).
22. Nature of Russia: Tula Region. Information and Reference System “Nature of Russia”. (In Russian).
23. PROKHOROV D.O. Technogenic Deposits: Comprehensive Inventory and Cadastral Assessment of Technogenic Mineral Objects of the Sverdlovsk Region. Tula, 2024:333. (In Russian).
24. PUNISHKO O.A., KATYSHEVA S.V. Methods of Sampling Stored Tailings of Gold Recovery Plants and Some Patterns of Gold Distribution in Tailings Storage Facilities. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2011;10;(57):157–161. (In Russian).
25. RAZMAKHIN K.K., KHATKOVA A.N., SHUMILOVA L.V., NOMOKONOVA T.S. Technology of Processing and Beneficiation of Ash and Slag Waste. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2023;10:122–135. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_10_0_122. (In Russian).
26. Rare Earth Metals. State Report on the Status and Use of Mineral Resources of the Russian Federation in 2023. Moscow, Rosgeolfond Publ. 2024:489–508. (In Russian).
27. The Russian ESG Financing Market: 2024 Forecast. Kommersant, 2024. (In Russian).
28. Russian Federation. Bank of Russia Regulation N 706-P of 19.12.2019, “On Securities Issuance Standards” (as amended on 04.03.2024), Ch. 65. (In Russian).
29. Russian Federation. Decree of the Government of the Russian Federation N 1587 of 21.09.2021, “On Approval of the Criteria for Sustainable (Including Green) Development Projects in the Russian Federation...” (as amended on 14.10.2025). (In Russian).
30. Russian Federation. Federal Agency for Subsoil Use. Methodological Recommendations for the Exploration of Technogenic Deposits of Placer Gold and Platinum Group Metals. Approved by Rosnedra on 10.09.2025. (In Russian).
31. RYABOV G.G. Ecological Characteristics of the Territory of the Moscow Coal Basin. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*.

- 2014;4:25–36. (In Russian).
32. Method for Beneficiation of Sulphide Copper-Nickel Ores Containing Platinum Group Minerals and Magnetite: Patent RU 2144429 C1. Google Patents. (In Russian).
 33. TARASENKO I.A., ZINKOV A.V. Environmental Consequences of Mineralogical and Geochemical Transformations of Sn-Ag-Pb-Zn Ore Processing Tailings. Vladivostok, Dalnauka Publ. 2001:184. (In Russian).
 34. Tula Mines of the Moscow Coal Basin Await Investors. Tula News. (In Russian).
 35. USMANOVA N.F., SHOSHINA A.S. Extraction of Non-Ferrous and Precious Metals from the Slime Fraction of Weathered Tailings of Copper-Nickel Ore Processing. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009;15;(12):493–500. (In Russian).
 36. Far East and Arctic Development Fund. Official Website of the Russian Ministry for the Development of the Far East and the Arctic. (In Russian).
 37. CHERNYAKOV V.E. Methodology for Structuring ESG-Segment Bond Issues for Sustainable Development Projects in the Russian Mining Industry. 2026. (In Russian).
 38. CHERNYAKOV V.E. Problems of Legal Regulation of Industrial Extraction of Placer Gold from Technogenic Mineral Formations in the Russian Federation. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2025;7:184–193. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_7_0_184. (In Russian).
 39. The Yurskoye Gold Deposit in Yakutia: Placer Exploration Methodology. Vnedra.ru. (In Russian).
 40. CANHIMBUE L., TALOVINA I. Geochemical Distribution of Platinum Metals, Gold and Silver in Intrusive Rocks of the Norilsk Region. *Minerals*. 2023;13;(6) art. 719. <https://doi.org/10.3390/min13060719>.
 41. Critical-Minerals Recovery from Mine Tailings: A Technical Assessment. *Idaho National Laboratory*. 2026, Report N INL-RPT-25-89279.
 42. ESG Funds and Critical Minerals: Financing the Energy Transition. SFA Oxford.
 43. Financing the Responsible Mining of Critical Minerals Using Thematic Bonds: Roundtable Summary. Center on Global Energy Policy, Columbia University SIPA, 2024.
 44. Use and Recovery of Extractive Waste and Tailings for Sustainable Raw Materials Supply. Mining, 2024. <https://doi.org/10.3390/mining4010010>.

Данные по промышленным объектам взяты из публичных источников и архивов Российского федерального геологического фонда (Росгеолфонда).

Черняков Валентин Евгеньевич,
соискатель кандидата экономических наук, член совета директоров объединения АЗДК «Золото Якутии», представитель Высшего горного совета по развитию юниорных компаний и проектов переработки техногенных отвалов

✉ 129515, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 13, стр. 1,
129515, Moscow, st. Academician Koroleva, 13, building 1,
тел.: +7 (985) 108-35-22, e-mail: ch.valentin.gold@bk.ru