

Методические положения обоснования условий и параметров эксплуатации техногенных образований

Е.Е. Швабенланд¹✉, А.А. Зубков²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва,
Российская Федерация

²Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация
✉ shvabenland@vims-geo.ru

Резюме: Потребность в совершенствовании проектирования горнотехнических систем с позиции комплексности использования различных видов георесурсов на всех этапах разработки месторождений предполагает обоснование условий и параметров эксплуатации техногенных минеральных образований при расширении технологий добычи и переработки лежалого и текущего техногенного сырья. В работе систематизированы современные методы подготовки техногенных минеральных образований к эксплуатации по ряду основных признаков, отражающих специфику техногенных объектов, цели подготовки и условия эксплуатации, что позволит осуществить их разработку с обеспечением комплексного извлечения ценных компонентов.

По мнению авторов, наиболее эффективной в современных условиях оказывается комбинированная совместная разработка природных месторождений и сопутствующих техногенных образований, которая включает горнотехнические, геотехнические, дренажные криогенные и экологически защитные мероприятия. Для сложных и нестабильных условий с невыдержаным составом природного и техногенного сырья обязательными становятся предварительные инженерные изыскания и система мониторинга. На действующих предприятиях подготовку техногенных объектов целесообразно осуществлять в процессе формирования техногенных образований, тем самым снижая эксплуатационные издержки. При масштабной или длительной эксплуатации оправдано внедрение автоматизированных и цифровых решений, повышающих управляемость и точность подготовительных работ.

Ключевые слова: техногенное минеральное образование, эксплуатационные отходы, горнопромышленный комплекс, отвал, хвостохранилище, шлакоотвалы, ценные компоненты, экологическое воздействие

Для цитирования: Швабенланд Е.Е., Зубков А.А. Методические положения обоснования условий и параметров эксплуатации техногенных образований. *Горная промышленность*. 2025;(5S):79–84. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-79-84>

Methodological provisions for justifying the conditions and parameters for mining man-made formations

Е.Е. Shvabenland¹✉, А.А. Zubkov²

¹N.M. Fedorovsky All-Russian Research Institute of Mineral Resources (VIMS), Moscow, Russian Federation

² Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

✉ shvabenland@vims-geo.ru

Abstract: The need to improve the design of mining systems in terms of the comprehensive use of various types of georesources at all the stages of deposit development requires a justification of the conditions and parameters for mining man-made mineral formations when expanding the mining and processing technologies to cover the dumped and currently produced man-made raw materials. The paper systematizes modern methods of developing man-made mineral formations for further mining operations according to a number of basic characteristics that reflect the specific nature of man-made formations, objectives of the development, and the operating conditions, which will enable their exploitation with integrated extraction of valuable components.

According to the authors, the most efficient approach in modern conditions is the combined integrated development of the natural deposits and associated man-made formations, which includes mining, geotechnical, dewatering, cryogenic, and environmental protection measures. Execution of preliminary engineering surveys and introduction of a monitoring system are essential for complex and unstable conditions with inconsistent natural and man-made raw materials. At existing operations it is advisable to start preparing man-made formations during their formation, thereby reducing the operating costs. Large-scale or long-term operations justify introduction of automated and digital solutions that improve the management efficiency and accuracy of the development work.

Keywords: man-made mineral formation, operational waste, mining complex, dump, tailings pond, slag disposal sites, valuable components, environmental impact

For citation: Shvabenland E.E., Zubkov A.A. Methodological provisions for justifying the conditions and parameters for mining man-made formations. *Russian Mining Industry*. 2025;(5S):79–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-79-84>

Введение

Продолжительная деятельность горнорудных предприятий неизбежно сопровождается формированием техногенных минеральных образований из отходов добычи и переработки полезных ископаемых, формирующихся на всех стадиях освоения природных месторождений. Содержание ценных компонентов в техногенных образованиях зачастую сопоставимо по качеству с вовлекаемыми в разработку природными месторождениями и свидетельствует о целесообразности рассмотрения хранилищ техногенного сырья как альтернативных источников минерально-сырьевых ресурсов [1–4].

Неоднородность техногенных массивов, сложность вещественного состава, содержание широкого спектра ценных компонентов в отходах добычи и переработки обуславливают необходимость исследования условий и параметров эксплуатации техногенного массива, а негативное экологическое воздействие техногенных образований на окружающую среду предопределяет актуальность изыскания технологий их эффективной эксплуатации.

Постановка проблемы

Отечественные горные предприятия ежегодно складируют на земной поверхности около 5 млрд т вскрышных горных пород и примерно 700 млн т отходов переработки размещают в отвалах обогатительных фабрик (рис. 1) [5; 6].

Изъятие под складирование отходов значительных территорий для длительного хранения техногенного сырья – причина загрязнения окружающей среды, представляющая риск для жизнедеятельности представителей растительного и животного мира, здоровья и безопасности местного населения, проживающего вблизи сформированных техногенных объектов. Немаловажно, что большая часть техногенных образований, сформированных в результате

добычи и переработки руд в прошлые годы, на данный момент не сопровождается деятельностью горнодобывающих предприятий и находится в ведении местного муниципалитета. В связи с отсутствием финансовых средств и специалистов в органах муниципальной власти технологические решения для дальнейшего полезного использования отсутствуют и в перспективе не предусмотрены.

Вещественный состав сырья таких техногенных объектов зачастую представлен не только вскрышными породами, также пригодными для полезного использования в промышленности и строительстве, но и содержит цветные, редкоземельные и благородные металлы, которые могут быть полезно извлечены для расширения минерально-сырьевой базы региона.

Промышленная значимость техногенных образований зависит не только от первичного вещественного природного состава руд, но и от продолжительности хранения техногенного сырья. По этому признаку следует выделять текущие отходы и отходы консолидированные – старолежальные [7]. Отходы текущего выхода предпочтительно использовать для производства строительных материалов, поскольку они сохраняют первичные физико-механические свойства и химический состав. Старолежальные отходы общераспространенных полезных ископаемых во многом утратили не только физико-механические и химические свойства, но и засорены, что зачастую затрудняет их эффективное промышленное использование. Однако низкое извлечение ценных компонентов ввиду несовершенства технологий в прошлые годы привело к накоплению в хранилищах техногенного сырья с достаточно высоким и в ряде случаев промышленным содержанием ценных элементов [8; 9]. Так, среднее содержание отдельных ценных компонентов в ранее сформированных хранилищах отходов переработки руд (хвостохранилищах) в ряде случаев выше по



Рис. 1
Динамика накопления отходов недропользования

Динамика структуры формирования отходов в Российской Федерации в динамике, тыс. т.
(по данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», 2021 г.)

Вид деятельности	2016	2017	2018	2019	2020
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	49242,3	41499,2	42773,7	47664,2	45150,5
Добыча полезных ископаемых	4723843,8	41499,2	42773,7	47664,2	47664,2
В том числе:					
Добыча угля	3377939,9	3874534,2	4816499,8	5199628,2	3911299,0
Добыча сырой нефти и природного газа	7750,7	8836,7	8917,2	7068,4	8127,1
Добыча металлических руд	957557,3	1522341,6	1643674,5	1635476,4	2070925,8
Добыча прочих полезных ископаемых	376242,8	376197,9	377504,7	407468,3	373976,4
Предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых	4353,1	4278,6	3889,2	7380,8	3007,4
Обрабатывающие производства	549325,3	274816,8	243767,6	296442,7	240432,5
Обеспечение электрической энергией, газом и паром	20509,3	20548,4	20105,1	20185,2	17468,0
Кондиционирование воздуха	7181,3	9937,6	10606,0	10688,6	8388,2
Строительство	21100,0	н/д	36000,0	42000,6	31551,8
Прочие виды экономической деятельности	70111,5	187652,4	62316,2	76873,9	245390,3
Всего	5441313,5	6220643,4	7266054,0	7750877,3	6955717,0

Fig. 1
Dynamics of mining waste accumulation

сравнению с промышленным содержанием в рудах базового месторождения, так как полезные компоненты не извлекались в процессах обогащения. В результате содержание ценных компонентов становится выше, чем в осваиваемых в настоящее время месторождениях. Например, на Южном Урале добывают руды с содержанием золота ниже 0,35 г/т, а в техногенных отвалах золоторудных месторождений Куранахской группы государственным балансом учтены запасы с содержанием золота 0,8 г/т и выше. Хвостохранилища золоторудных месторождений Забайкальского края характеризуются следующими содержаниями золота: Любавинское – 1,79 г/т, Балейское – 1,20 г/т, Ключевское – 0,77 г/т, Александровское – 0,5 г/т, Карийское – 0,35 г/т. Техногенные отходы норильского промышленного района содержат комплекс элементов, в том числе: платину, золото, серебро, селен, теллур, германий, редкие и рассеянные элементы и пр.

Основными факторами, обуславливающими перспективность вовлечения в переработку техногенных минеральных образований, являются, как правило, их близкое расположение к обогатительной фабрике и наличие развитой инфраструктуры, подготовленность по гранулометрическому составу к выемке, а также достаточно высокое содержание полезных компонентов, сопоставимое с разрабатываемыми рудами при истощении минерально-сырьевой базы предприятий и увеличении себестоимости разработки балансовых запасов.

Методические рекомендации для подготовки техногенных образований к эксплуатации

В отличие от природных месторождений, формирование которых подчиняется законам геологии, техногенные минеральные образования (отвалы, хвостохранилища, шлакоотвалы и др.) представляют собой результат многолетнего накопления отходов горных, перерабатывающих или металлургических производств, зачастую хаотично складированных, обладающих высокой степенью неоднородности, нестабильными физико-механическими характеристиками, наличием включений в виде бетонных блоков и измененных металлических частей.

В этой связи одним из ключевых этапов в технологии вовлечения техногенных минеральных образований в промышленную эксплуатацию является подготовка их к разработке. Под подготовкой массива техногенного образования к разработке или эксплуатации понимается комплекс мероприятий, направленных на создание предпочтительных условий для безопасного и эффективного извлечения минерального сырья из техногенных образований. Обозначенные выше существенные отличия техногенных образований по строению, физико-механическим и химическим свойствам от природных месторождений требуют адаптации или разработки специализированных методов подготовки техногенных образований к эксплуатации.

Факторами, определяющими технологию подготовки техногенных объектов к эксплуатации, являются:

- нестабильная структура самих техногенных минеральных образований (влажность, рыхлость, просадочность, неуплотнённость и промерзаемость);
- высокий риск геомеханических и экологических осложнений при эксплуатации;
- сложность обеспечения устойчивого фронта работ при безопасном доступе к полезным компонентам;
- потребность в расширении минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий на заверша-

ющей стадии эксплуатации природных месторождений;

- усиление внимания надзорных органов к вопросам инженерной и экологической безопасности вторичного непропользования.

В условиях, когда техногенные образования становятся всё более значимым компонентом минерально-сырьевой базы, именно грамотная инженерная подготовка техногенного объекта к эксплуатации способна обеспечить переход от концепции «захоронения отходов» к эффективному вовлечению их в полный производственный цикл освоения лицензионного участка недр. От качества подготовки техногенного сырья зависят не только технико-экономические показатели освоения участка недр, но и уровень риска аварий для персонала, оборудования и окружающей среды.

Методы подготовки техногенного образования к эксплуатации классифицированы по ряду основных признаков, отражающих специфику техногенных объектов, цели подготовки и условия эксплуатации (табл. 1).

Согласно предложенной классификации технологическая схема для подготовки массива техногенного образования к эксплуатации может быть представлена в виде четырех классов, разделенных по методам воздействия на техногенный массив, по степени комплексности воздействия на него, по стадии применения, а также по уровню автоматизации процесса подготовки. Тип каждого из указанных классов определяется целями и задачами подготовки техногенных образований к эксплуатации. Основные этапы реализации и условия применения каждого из классов описаны в столбцах 4 и 5 табл. 1 соответственно.

Оценка применимости различных методов подготовки массива техногенного сырья к эксплуатации требует комплексного анализа технических, природных и экономических факторов. Рациональный выбор методов обеспечивает безопасность работ, эффективность извлечения минерального сырья и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Так, в зависимости от строения и структуры техногенного минерального объекта (высота, форма, крутизна откосов, наличие внутренних пустот и неоднородностей) для устойчивых, пологих склонов наиболее подходящими являются механические и автоматизированные технологии, в то время как для сложноструктурных, неоднородных и неустойчивых объектов необходимы более сложные геотехнические и гидрологические и криогенные мероприятия.

Физико-механические свойства техногенного сырья, такие как прочность, гранулометрический состав, влажность, склонность к пылеобразованию, при достаточной прочности допускают традиционную механическую выемку либо требуют предварительного дренажа и укрепления массива при слабосвязанных и влажных материалах, слагающих техногенный массив.

Гидрогеологические условия (уровень и динамика грунтовых вод, наличие водоносных горизонтов, склонность к фильтрации) при высокой обводнённости техногенного массива предопределяют необходимость выполнения дренажных и водоотводных мероприятий, в то время как в условиях отрицательных температур возможно использование промерзших грунтов для повышения их устойчивости.

Кроме того, необходимо также учитывать как экологические ограничения (близость водных и охраняемых объектов, населённых пунктов, наличие особо охраняемых заповедных территорий) для локализации загрязнений, минимизации выбросов и своевременной рекультивации

Таблица 1
 Контролируемые физико-механические характеристики

Table 1
 The controlled physical and mechanical characteristics

Критерий классификации	Группа методов	Цели и задачи	Процесс реализации	Условия применения
1	2	3	4	5
По методам воздействия	Механические	Физическая подготовка массива, обеспечение доступа, формирование рабочих поверхностей	Планировка, выемка, формирование уступов, удаление поверхностных слоев	Применяются на всех этапах, особенно в устойчивых породах для работы техники
	Геотехнические	Повышение устойчивости массива, предотвращение обрушений	Укрепление откосов, закладка неустойчивых зон, мониторинг деформаций	Необходимы при неустойчивых, сложноструктурных массивах, при наличии рисков обрушения
	Технологические	Оптимизация технологических процессов, повышение эффективности извлечения	Селективная выемка, предварительное дробление, мобильные обогатительные установки	Применяются при вариабельном составе сырья, необходимости повышения качества продукции
	Гидрогеологические	Управление водным режимом, предотвращение подтопления, снижение фильтрации	Дренаж по системам водоотводных каналов, контроль фильтрации	Важны при высокой влажности техногенного сырья, наличии грунтовых и поверхностных вод
	Экологические	Минимизация негативного воздействия на окружающую среду	Пылеподавление, локализация загрязнённых вод, рекультивация	Обязательны при строгих экологических требованиях и вблизи населённых пунктов
По степени комплексности	Однофункциональные	Решение одной задачи	Дренаж, укрепление	Используются при локальных проблемах
	Комплексные	Одновременное решение нескольких задач	Комбинирование механических, геотехнических и экологических методов	Наиболее эффективны для сложных в геомеханическом плане объектов
По стадии применения	Предварительная	Подготовка до начала эксплуатации	Инженерные изыскания, планировка, укрепление	На этапе проектирования и старта работ
	Текущая (оперативная)	Поддержание в процессе эксплуатации	Мониторинг состояния, локальное укрепление	На всём протяжении эксплуатации
	Заключительная	Завершение эксплуатации, рекультивация	Рекультивация, консервация, ликвидация	После завершения основной деятельности
По уровню автоматизации	Ручные и механизированные	Использование механизированного оборудования и ручного труда	Экскаваторы, бульдозеры, погрузчики, комбайны, ручная выемка	Доступны, но менее эффективны на крупных объектах
	Автоматизированные	Повышение точности позиционирования, рост производительности, снижение трудозатрат	Цифровое моделирование, датчики, автоматизированные системы управления	Эффективны для крупных и сложных техногенных объектов, требуют значительных инвестиций
	Роботизированные	Предпочтительны к применению на всех стадиях эксплуатации техногенного объекта согласно базовому проекту	Характеризуются высокой надежностью, минимальными рисками, возможностью саморегулирования в ходе эксплуатации техногенного образования	Высокая степень изученности техногенного объекта для обоснованной оценки инвестиционной привлекательности

поверхности, так и экономическую эффективность выбранного метода подготовки массива техногенного образования к эксплуатации (соотношение затрат и ожидаемого эффекта, доступность техники и материалов, сроки реализации).

Выбор способов эксплуатации техногенного образования

Для выбора приоритетных способов эксплуатации техногенных запасов важно учитывать индивидуальные особенности разрабатываемого техногенного объекта. В табл. 2 представлена систематизация применимости различных способов эксплуатации техногенных объектов с учётом основных влияющих факторов.

В качестве преимуществ эксплуатации техногенных образований механическими и физико-техническими способами следует отметить отработанность и распространённость технологий выемки техногенного сырья и относительную легкость эксплуатации выемочно-погрузочной техники. Однако применение указанных способов разработки ограничивается требованием обеспечения устойчивости техногенного массива в ходе работы механизированной техники, что подразумевает предварительное осушение техногенного объекта либо сезонное промерзание техногенного массива.

Физико-химические способы эксплуатации техногенных образований, подразумевающие выщелачивание техногенных грунтов любой стадии окисления в условиях, когда массив законсервирован или осушен, позволяют осущест-

Таблица 2
Классификация способов
эксплуатации техногенных
объектов

Способы	Применимость	Ограничения и условия применения
Механические, физико- технические	Эффективны для устойчивых грунтов при достаточно простых условиях эксплуатации	Неприменимы для неустойчивых, весьма обводнённых объектов
Физико- химические	Применимы при вариабельном составе сырья, склонности его к переходу ионов ценных компонентов в жидкую фазу	Зависимы от состава техногенного сырья и структуры, требуют районирования техногенного объекта по вещественному составу сырья
Гидродобыча	Предпочтительна при высоком уровне грунтовых вод, угрозе фильтрации и размыва, высокой обводнённости техногенного объекта	Требуется высокий расход воды из природного источника

влять наиболее затратную стадию переработки хвостов в теле техногенного объекта. При этом следует отметить, что для эффективного применения указанных способов эксплуатации требуется локализация обогащенных зон в теле техногенного образования, что не всегда возможно ввиду сложности горно-геологических условий, отсутствия исследований по установлению закономерностей распределения ценных компонентов в теле техногенного массива.

Гидромеханизированные способы эксплуатации техногенных запасов применимы к условиям разработки обводненных участков техногенных образований и предполагает использование плавающих земснарядов, драг или погружных насосов. Однако, поскольку максимально возможную производительность добычи через скважины определяет именно процесс гидроразмыва, применение этих способов эксплуатации предполагает обеспечение производственного цикла высоким объемом воды из природных источников.

Следует отметить, что при больших объемах работ, высоких требованиях к обеспечению безопасных условий извлечения запасов из опасных зон, недоступных для ве-

дения горных работ механизированной техникой, а также к качеству подготовки техногенного объекта наиболее оправданно использование автоматизированных и роботизированных технологий [10–14]. В условиях растущей конкуренции и ужесточения требований к охране труда автоматизация и роботизация повторяющихся операций с высоким риском травматизма, сокращение зависимости от человеческого фактора, стабилизация качества выпускаемой продукции, а также повышение технологической управляемости способны в будущем не только повысить эффективность и обеспечить безопасность производства, но и обеспечить планомерность и эффективность разработки техногенного минерального образования в аспекте комплексного освоения недр.

Таким образом, разработанная классификация и анализ способов подготовки и эксплуатации техногенных образований позволили выделить ключевые подходы к совместной эксплуатации природных месторождений и техногенных образований с учетом их вещественного состава, физико-механических характеристик, гидрогеологических и геомеханических свойств, экологических и экономических ограничений. Показано, что выбор конкретной технологии подготовки и эксплуатации техногенных образований не может быть универсальным и требует учёта индивидуальных особенностей объекта: морфологии и свойств природных залежей, вещественного состава техногенного сырья, устойчивости грунтов, гидрогеологических условий и степени воздействия на окружающую среду.

Заключение

Наиболее эффективной в современных условиях оказывается комбинированная совместная разработка природных месторождений и сопутствующих техногенных образований, включающая горнотехнические, геотехнические, дренажные криогенные и экологически защитные мероприятия. Для сложных и нестабильных условий с невыдержаным составом природного и техногенного сырья обязательными становятся предварительные инженерные изыскания и система мониторинга. На действующих предприятиях подготовку техногенных объектов целесообразно осуществлять в процессе формирования техногенных образований, тем самым снижая эксплуатационные издержки. Кроме того, при масштабной или длительной эксплуатации оправдано внедрение автоматизированных и цифровых решений, повышающих управляемость и точность подготовительных работ.

Список литературы / References

1. Зворыкина Ю.В., Будина Т.С., Кайманаков И.С. Управление отходами недропользования в Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. *Горная промышленность*. 2024;(5):59–65. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-59-65>
Zvorykina Ju.V., Budina T.S., Kaimanakov I.S. Mining waste management as part of the Mineral Resource Base Development Strategy of the Russian Federation. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):59–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-59-65>
2. Ларичкин Ф.Д., Кныш В.А. (ред.) *Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий*. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН; 2019. 252 с.
3. Джевага Н.В., Чухланцева Т.И. Промышленные отходы в горнодобывающей отрасли: современное состояние и пути решения проблем. В кн.: *Наука, технологии, общество: экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: сборник научных трудов 3-й Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Красноярск, 16–18 ноября 2022 г.* Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО; 2022. Вып. 6. С. 210–216.
4. Соколовский А.В., Гончар Н.В. Оценка направлений использования техногенных ресурсов при отработке различных видов минерального сырья. *Горная промышленность*. 2023;(5):102–107. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-102-107>
Sokolovsky A.V., Gonchar N.V. Assessment of directions to use man-made resources in the development of various types of mineral raw materials. *Russian Mining Industry*. 2023;(5):102–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-102-107>

5. Сытенков В.Н., Рыльникова М.В., Олейник Д.Н., Швабенланд Е.Е. К вопросу возможности и целесообразности обеспечения обязательных требований при использовании вскрышных и вмещающих пород разрабатываемых месторождений. *Рациональное освоение недр*. 2024;(2):48–58.
Sytenkov V.N., Ryl'nikova M.V., Oleinik D.N., Shvabenland E.E. On the issue of possibility and expediency of compliance for the use of overburden and adjacent rocks of developed deposits. *Ratsionalnoe Osvoenie Nedor*. 2024;(2):48–58. (In Russ.)
6. Радченко Д.Н., Цупкина М.В.1, Джаппуев Р.К. Эколого-экономическая оценка техногенных минеральных образований для обеспечения устойчивого развития горнoprомышленной индустрии. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2021;(1):303–315.
Radchenko D.N., Tsupkina M.V., Dzhappuev R.K. Ecological and economic assessment of technogenic mineral formations to ensure sustainable development of the mining industry. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2021;(1):303–315. (In Russ.)
7. Рыльникова М.В., Олейник Д.Н., Цупкина М.В. Совершенствование правовой и научно-методической базы обращения и управления отходами недропользования. *Горная промышленность*. 2024;(5S):44–48. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-44-48>
Rylnikova M.V., Oleinik D.N., Tsupkina M.V. Improvement of the legal, research and methodological basis for handling and management of mining wastes. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):44–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/16099192-2024-5S-44-48>
8. Джаппуев Р.К., Соглаев А.В., Залевская К.Н., Радченко Д.Н. Извлечение золота из техногенного сырья: практика АО «ЮГК». *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(4):340–350.
Dzhappuev R.K., Soglaev A.V., Zalevskaya K.N., Radchenko D.N. Extraction of gold from technogenic raw materials: the practice of the JSC "UGC". *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(4):340–350. (In Russ.)
9. Абрамов Б.Н. Техногенные месторождения золота Забайкальского края. *Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов*. 2024;335(7):105–110. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/7/4211>
Abramov B.N. Technogenic gold deposits of the Trans-Baikal Territory. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024;335(7):105–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/7/4211>
10. Мельниченко И.А., Кириченко Ю.В. Разработка метода районирования техногенных массивов. *Горная промышленность*. 2021;(3):116–122. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-3-116-122>
Melnichenko I.A., Kirichenko Yu.V. Development of zoning method for man-made massifs. *Russian Mining Industry*. 2021;(3):116–122. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-3-116-122>
11. Князев Н.В., Лапина О.Д. Возможности внедрения инновационных технологий в управление переработкой техногенных месторождений в Российской Федерации. *Теория и практика общественного развития*. 2025;(2):160–166. <https://doi.org/10.24158/tipor.2025.2.21>
Knyazev N.V., Lapina O.D. Opportunities for innovative technologies implementing in the management of technogenic deposit processing in the Russian Federation. *Theory and Practice of Social Development*. 2025;(2):160–166. (In Russ.) <https://doi.org/10.24158/tipor.2025.2.21>
12. Рыльникова М.В., Цупкина М.В., Кирков А.Е. Технологии сбора и обработки больших данных – основа повышения достоверности первичной информации о массивах горных пород при освоении месторождений полезных ископаемых и техногенных образований. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;(1-1):308–327. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-308-327>
Rylnikova M.V., Tsupkina M.V., Kirkov A.E. Technologies of big data collection and processing – the basis for increasing the reliability of primary information about rock massifs in the development of mineral deposits and technogenic formations. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2023;(1-1):308–327. (In Russ.) <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-308-327>
13. Li S., Chen J., Liu C. Overview on the development of intelligent methods for mineral resource prediction under the background of geological big data. *Minerals*. 2022;12(5):616. <https://doi.org/10.3390/min12050616>
14. Li S., Chen J., Liu C., Wang Y. Mineral prospectivity prediction via convolutional neural networks based on geological big data. *Journal of Earth Science*. 2021;32(2):327–347. <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1365-z>

Информация об авторах

Швабенланд Елена Егоровна – кандидат технических наук, заведующий сектором анализа проектов на разработку месторождений цветных, редких, благородных металлов, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Российская Федерация; shvabenland@vims-geo.ru

Зубков Антон Анатольевич – исполняющий обязанности директора института горного дела и транспорта, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.08.2025
Поступила после рецензирования: 15.10.2025
Принята к публикации: 21.10.2025

Information about the authors

Elena E. Shvabenland – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Sector of Projects Analysis for the Development of Non-Ferrous, Rare, and Noble Metal Deposits, N.M. Fedorovsky All-Russian Research Institute of Mineral Resources (VIMS), Moscow, Russian Federation; shvabenland@vims-geo.ru

Anton A. Zubkov – Acting Director, Mining Engineering and Transport Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Article info

Received: 13.08.2025
Revised: 15.10.2025
Accepted: 21.10.2025