Оригинальная статья / Original Paper

https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-106-111

Типизация технологических схем эколого-сбалансированной геотехнологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых

Н.В. Гончар[1], В.А. Пикалов[2], А.В. Соколовский[2]✉, М.А. Терешина[2]
[1] АО «Русская медная компания», г. Екатеринбург, Российская Федерация
[2] ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация
✉ avs@ustup.ru

Резюме: В статье рассмотрены технологические схемы эколого-сбалансированной геотехнологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых, актуальность формирования которой возросла на фоне тенденции ухудшения природного качества добываемого минерального сырья, усложнения горнотехнических условий, повышения антропогенной нагрузки на окружающую среду, в том числе из-за роста количества отходов. Такая геотехнология нацелена на баланс между неизбежным негативным воздействием, возникающим во всех технологических процессах горнодобывающего производства, и решениями, компенсирующими это воздействие. Определено, что значительный экологический эффект возможно получить в случае использования значительных объемов выработанных пространств карьеров и техногенных ландшафтов при целенаправленном их формировании в процессе ведения добычных работ в качестве техногенных георесурсов с заданными потребительскими свойствами.

С позиции системного подхода сформулировано, что горнодобывающие предприятия как открытые системы реализуют, как правило, две стратегии поддержания баланса с окружающей средой. Первая направлена на поддержание баланса посредством отгораживания ее (системы) от резких изменений, происходящих вовне. Другая стратегия предусматривает адаптацию – действия по приспособляемости системы к различным внешним и внутренним изменениям. Первая стратегия реализуется посредством получения больших ресурсов, чем требуется для производства, что увеличивает и образование отходов. Вторая стратегия может быть направлена на изменения технологии, в том числе в части обращения с отходами и использования техногенных ресурсов.

На основе анализа структуры техногенных георесурсов и декомпозиции систем горнодобывающего предприятия разработаны типовые технологические схемы эколого-сбалансированной геотехнологии, которые включают традиционный тип технологических схем, схемы на основе вторичной переработки минерального сырья и на основе использования техногенных георесурсов, а также комбинацию этих трех схем.

Обоснованы требования к системе показателей оценки экологической сбалансированности освоения месторождений.

Ключевые слова: геотехнология, экологическая сбалансированность, технологическая схема, техногенные георесурсы

Для цитирования: Гончар Н.В., Пикалов В.А., Соколовский А.В., Терешина М.А. Типизация технологических схем эколого-сбалансированной геотехнологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых. *Горная промышленность*. 2025;(6):106–111. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-106-111

Type assignment to process flowsheets of environmentally balanced mining methods for solid mineral deposits

N.V. Gonchar[1], V.A. Pikalov[2], A.V. Sokolovsky[2] ✉, M.A. Tereshina[2]
[1] Russian Copper Company Limited, Ekaterinburg, Russian Federation
[2] Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation
✉ avs@ustup.ru

Abstract: The article discusses process flowsheets of environmentally balanced methods of mining solid mineral deposits, the relevance of which has increased against the trend of deteriorating natural quality of extracted mineral raw materials, more complex mining conditions, and increased man-caused stress on the environment, including the growing amount of waste. Such a mining method aims to strike a balance between the unavoidable negative impact that comes with all the mining processes

and the solutions that offset this impact. It has been determined that a significant environmental effect can be achieved by using large volumes of worked-out open-pit mines and man-made terrains, purposefully forming them during the mining process as man-made georesources with specified consumer properties.
From the system approach perspective, it has been stated that mining companies, as open-type systems, typically implement two strategies to maintain balance with the environment. The first strategy aims to maintain the balance by shielding the system from sudden changes that take place outside of it. The other strategy involves adaptation, i.e. the actions to adapt the system to various external and internal changes. The first strategy is implemented by obtaining more resources than are required for production, which increases waste generation. The second strategy can be aimed at changing the technologies, including those in waste management, and using man-generated resources.
Based on analyzing the structure of man-generated georesources and the decomposition of mining company's systems, we have developed standard process flowsheets for environmentally balanced mining methods, which include traditional process flowsheets, flowsheets based on recycling of mineral raw materials and those using the man-generated georesources, as well as a combination of these three process flowsheets.
Requirements have been justified for a system of indicators to assess the environmental sustainability of the deposit development.

Keywords: mining methods, environmental sustainability, process flowsheet, man-generated georesources
For citation: Gonchar N.V., Pikalov V.A., Sokolovsky A.V., Tereshina M.A. Type assignment to process flowsheets of environmentally balanced mining methods for solid mineral deposits. *Russian Mining Industry.* 2025;(6):106–111. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-106-111

Введение

Методология проектирования горнотехнических систем для добычи твердых полезных ископаемых нацелена на обеспечение экономической эффективности, комплексности и полноты извлечения запасов минерального сырья с соблюдением требований рационального освоения недр, промышленной и экологической безопасности [1; 2]. На фоне сложившейся тенденции ухудшения природного качества добываемого минерального сырья, усложнения горнотехнических условий, повышения антропогенной нагрузки на окружающую среду, в том числе из-за роста количества отходов, совершенствование методологии проектирования в части разработки методов и методических подходов к формированию эколого-сбалансированной геотехнологии становится актуальной проблемой [3–6]. Такая геотехнология нацелена на баланс между неизбежным негативным воздействием, возникающим во всех технологических процессах горнодобывающего производства, и решениями, компенсирующими это воздействие.

Компенсация неизбежного негативного воздействия при разработке месторождений и переработке добытого сырья обеспечивается внедрением решений, направленных на сохранение устойчивого развития горнотехнической системы на как можно более длительный период эффективной эксплуатации недр. Значительный экологический эффект возможно получить в случае использования объемов выработанных пространств карьеров и техногенных ландшафтов при целенаправленном их формировании в процессе ведения добычных работ в качестве техногенных георесурсов с заданными потребительскими свойствами [7].

В отечественной и зарубежной практике имеется положительный опыт использования целенаправленно сформированных георесурсов для различных целей. Однако данные решения носят единичный и локальный характер, ограничены в области применения по причине их низкой экономической эффективности или сложной технологической реализуемости [8–10].

Одной из причин такой ситуации является отсутствие сложившейся единой концепции, предусматривающей на этапе проектирования горнотехнической системы целенаправленное формирование технологических процессов, направленных на реализацию эколого-сбалансированных решений [11].

Помимо снижения экологической нагрузки, за счет использования создаваемых техногенных георесурсов возможно обеспечить продление срока эффективной эксплуатации горнотехнической системы и освоения участка недр.

Результаты

Теоретические положения

Известно, что закрытые системы наносят меньший вред окружающей среде, чем открытые.

Закрытая система ограничена от окружающего мира, и взаимодействие протекает только между ее структурными элементами. Открытая система функционирует благодаря взаимодействию с окружающей средой.

Поскольку закрытая система не получает ресурсов из внешней среды, она может со временем начать сокращаться.

Если закрытая система стабильна, то количество ее элементов является постоянной величиной. Тем не менее в системе осуществляются различные процессы по преобразованию ресурсов, в результате которых образуются продукты и как идеал – уничтожаются отходы. Система остаётся закрытой и в том случае, если общее количество элементов сохраняется независимо от того, частью каких подсистем они являются.

Математически для закрытой системы:

$$\sum_{j=1}^{m} a_{ij} N_j \leq b_i^{z0},$$

где N_j – количество подсистем j; a_{ij} – количество элементов i в подсистеме j; b_i^{z0} – общее количество элементов i в закрытой системе в начальный момент, которое остается постоянным или уменьшается, так как система закрытая [12].

В отличие от нее, открытая система может как поддерживать свою структуру, так и расти, если приток ресурсов извне, а также отток продуктов и отходов из системы не ограничен. При постоянстве притока новых ресурсов и их оттока из системы существует определенная стабильность и сбалансированность. Когда открытая система активным образом перерабатывает ресурсы в выходной продукт, она остается способной поддерживать себя в течение длительного времени.

Математически для открытой системы:

$$\sum_{j=1}^{m} a_{ij} N_j \geq b_i^{z0},$$

где b_i^{z0} – общее количество элементов i в открытой системе в начальный момент, которое остается постоянным или увеличивается.

Открытые системы реализуют, как правило, две стратегии поддержания баланса с окружающей средой. Первая направлена на поддержание баланса системы во взаимодействии с внешней средой посредством отгораживания ее (системы) от резких изменений, происходящих вовне. Другая стратегия предусматривает адаптацию – то есть действия по приспособляемости системы к различным внешним и внутренним изменениям, которые позволяют приспособиться к новым условиям среды.

Первая стратегия реализуется посредством того, что подсистемы в границах системы получают больше ресурсов, чем требуется для производства. Это увеличивает и образование отходов.

Вторая стратегия направлена на производство новой продукции, в том числе посредством переработки отходов, внедрения новых техники и технологий.

Методические результаты

Горнодобывающее предприятие как система – это совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых подсистем, которые можно разделить на условно открытые и условно закрытые.

Декомпозиция предприятия как хозяйствующего субъекта на подсистемы осуществляется исходя из структуры производства и реализации продукции, а также механизма получения средств, необходимых для покрытия расходов, осуществления воспроизводства и развития организации. Традиционно главным конечным результатом функционирования горнодобывающего предприятия как хозяйствующего субъекта является производство и реализация минерального сырья, удовлетворяющего сложившийся потребительский спрос. Исходя из этого определено общее строение предприятия, которое можно представить в виде подсистем:

– горнотехническая;
– организационная;
– управленческая;
– социально-экономическая.

Приведенный перечень отражает состав и иерархию основных подсистем, образующих горнодобывающее предприятие.

Для обеспечения задач эколого-сбалансированного и комплексного использования природных и техногенных георесурсов необходимо выделить экологическую подсистему, основной целевой задачей которой является обеспечение экологической эффективности (табл. 1).

Экологическая подсистема обеспечивает допустимый уровень экологического воздействия посредством реализации природоохранных и компенсирующих мероприятий.

Также экологическая подсистема включает институты, формирующие у персонала нацеленность на культуру природосохранения и на обеспечение экологической эффективности и сбалансированности.

Экологическая подсистема должна быть интегрирована во все подсистемы предприятия, поскольку принципы экологической эффективности и сбалансированности, а также комплексности освоения должны быть реализованы на всех уровнях [13].

Например, в технической и технологической подсистемах это выражается в виде отдельного оборудования или технологических процессов, направленных на решение экологических задач. Тесная связь горнотехнической и экологической подсистем позволяет реализовывать эколого-сбалансированную геотехнологию комплексного использования природных и техногенных георесурсов.

Практические рекомендации

На основе анализа структуры техногенных георесурсов и декомпозиции систем горнодобывающего предприятия разработаны типовые технологические схемы эколого-сбалансированной геотехнологии, которые представлены на рис. 1–4.

Традиционные технологические схемы предусматривают общераспространенные и типичные компенсирующие мероприятия, такие как использование вскрышных пород на собственные нужды – строительство автодорог, дамб хвостохранилищ и прочих объектов. В случае наличия обогатительных фабрик предусматривается оборотное водоснабжение.

Снижение негативного воздействия при данных схемах достигается за счет сокращения потребления ресурсов из внешней среды – стройматериалов, воды и т.п.

Таблица 1
Основные элементы экологической подсистемы горнодобывающего предприятия

Table 1
Key elements of the environmental subsystem of a mining company

Элемент	Назначение	Формируемые ресурсы	Последствия, образуемые отходы
Добывающий комплекс	Определяет количество и качество добываемого сырья, реализует способ добычи минерального сырья	Минеральные ресурсы при добыче. Техногенное пространство. Вмещающие породы	Вскрышные породы. Нарушенные земли. Загрязненные водные объекты
Перерабатывающий комплекс	Определяет количество и качество добываемого сырья, реализует способ добычи минерального сырья	Готовый продукт более высокого качества. Закладочный материал. Склады потенциальных техногенных ресурсов (хвостохранилища)	Пустые породы после обогащения. Загрязненные водные объекты. Хвостохранилища
Объекты размещения отходов	Определяют условия хранения и дальнейшего использования отходов	Техногенные георесурсы	Нарушенные земли

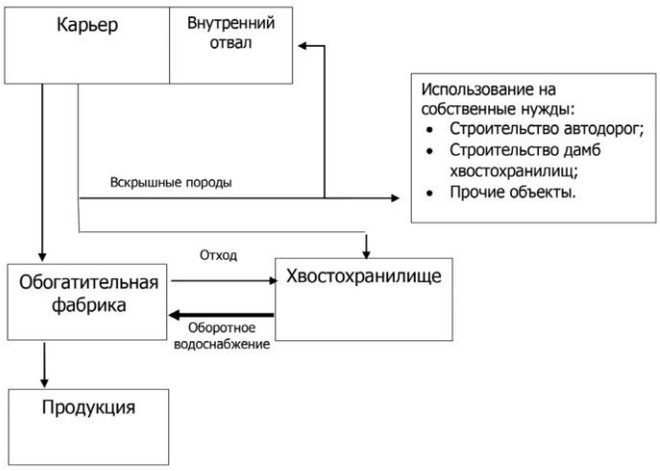

Рис. 1
Традиционный тип технологических схем эколого-сбалансированной геотехнологии

Fig. 1
A conventional type of the process flowsheets for environmentally balanced mining methods

Рис. 2
Технологические схемы эколого-сбалансированной геотехнологии на основе вторичной переработки минерального сырья

Fig. 2
Process flowsheets for environmentally balanced mining methods based on recycling mineral raw materials

В данном случае формируется условно закрытая система.

Схемы, предусматривающие вторичную переработку минерального сырья, имеют продуктовую направленность и снижение негативного воздействия достигается минимизацией количества образуемых отходов [14]. В этом случае снижается и удельное значение вреда на единицу полезного продукта.

При данных схемах формируется открытая система с пониженным воздействием на окружающую среду.

Схемы, нацеленные на использование техногенных георесурсов, являются максимально экологически сбалансированными. Такие объекты, как хвостохранилища, отвалы пустых пород и иные объекты, располагаются в выработанном пространстве карьеров, на отвалах используются горизонтальные площадки для возведения объектов инфраструктуры, откосы и перепады высот для выработки электроэнергии и иных целей [15; 16].

Данные схемы характерны для открыто-закрытых систем.

Объединение элементов представленных выше технологических схем образует комбинированные технологические схемы. Один из примеров такой схемы представлен на рис. 4.

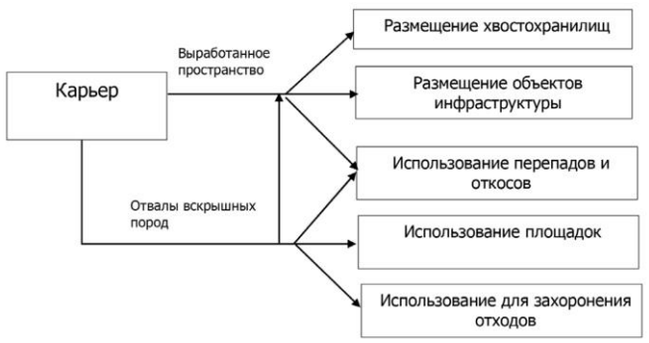

Рис. 3
Технологические схемы эколого-сбалансированной геотехнологии на основе использования техногенных георесурсов

Fig. 3
Process flowsheets of environmentally balanced mining methods based on the use of man-generated georesources

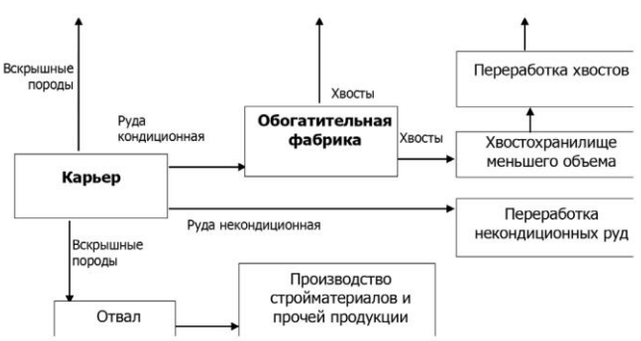

Рис. 4
Комбинированный тип технологических схем эколого-сбалансированной геотехнологии

Fig. 4
A combined type of the process flowsheets of environmentally balanced mining methods

Каждая из приведенных технологических схем обеспечивает определенный уровень экологической сбалансированности при разработке месторождений.

Критерии эколого-сбалансированного освоения месторождений выражаются в численных показателях, отражающих оперативные и стратегические результаты как в масштабе горнотехнической системы отдельного горнодобывающего предприятия, так и в масштабе экосистемы, на которую это предприятие оказывает влияние.

Критерии эколого-сбалансированного освоения месторождения задаются посредством приемлемого диапазона численных значений показателей, характеризующих негативные и компенсирующие стороны деятельности предприятия по добыче полезных ископаемых. Для многих показателей может использоваться следующее правило определения диапазона приемлемых значений:

$$k_j^{\text{П}} \times \Pi^{\text{ка}} \geq \Pi^{\text{н}} \leq \Pi^{\text{к}},$$

где $\Pi^{\text{к}}$ – значение показателя, отражающего суммарный экологический эффект от компенсирующих мероприятий; $\Pi^{\text{н}}$ – значение показателя, отражающего суммарное негативное воздействие предприятия на окружающую среду; $\Pi^{\text{ка}}$ – значение показателя эффективности компенсирующих мероприятий у предприятия-аналога, выбранного в качестве эталона для сравнения; $k_j^{\text{П}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий различие параметров сравниваемых предприятий.

Оценка экологической сбалансированности освоения конкретного месторождения представляет собой сложную многофакторную задачу, которая сводится к выявлению наиболее важных показателей экологической эффективности и их интегрированию. Исходя из особенностей решаемой проблемы к системе показателей предъявляются следующие требования:

Исходной информацией при оценке экологической сбалансированности освоения месторождения является динамика реализации эколого-ориентированных решений, обеспечивающих достижение баланса в локальных аспектах или в целом по предприятию.

Совокупность показателей должна позволять сравнивать негативные воздействия и компенсирующие мероприятия и оценивать комплексный комплементарный эффект на каждом этапе разработки месторождения.

Поскольку реализация проекта эколого-сбалансированного освоения месторождения требует оценки множества отдельных и интегральных параметров, оценка результатов реализации такого проекта должна базироваться на показателях, релевантно учитывающих эти параметры.

Эколого-сбалансированное освоение месторождения предполагает решение комплекса стратегических, тактических и оперативных задач, следовательно, необходимы показатели, отражающие качество экологических решений в текущем, среднесрочном и долгосрочном периодах.

Основным критерием, отражающим достижение экологической сбалансированности освоения месторождения, является положительная динамика снижения экологического ущерба и повышения эффекта от компенсирующих мероприятий за определенный период времени:

$$\Delta ЭС(t) = \frac{dЭР - dЭУ}{dt},$$

где ЭС – экологическая сбалансированность; ЭР – экологический эффект; ЭУ – экологический ущерб.

Экологическую эффективность при этом предлагается оценивать как отношение экологического эффекта и ущерба:

$$ЭЭ = \frac{ЭР}{ЭУ}.$$

Таким образом, баланс должен быть обеспечен непрерывно в текущем периоде – за счет локальных решений, в долгосрочном – за счет комплексного эколого-ориентированного управления при освоении месторождений.

Заключение

В рамках данного исследования сущность экологически сбалансированной геотехнологии заключается в комплексном освоении как природных, так и техногенных георесурсов, при котором одни природные и техногенные объекты могут быть использованы для ликвидации, размещения, создания или рекультивации других техногенных объектов с одновременным снижением антропогенной нагрузки, улучшением экологической обстановки, а также восстановлением окружающей среды и ландшафтов.

Эколого-сбалансированная технология разработки твердых полезных ископаемых нацелена на баланс между неизбежным негативным воздействием, возникающим во всех технологических процессах горнодобывающего производства, и эколого-компенсирующими решениями, реализуемыми на всех стадиях жизненного цикла горнодобывающего предприятия и способными снизить неизбежное негативное воздействие либо оказать такое положительное воздействие, при котором негативным воздействием можно условно пренебречь.

С учетом требований, сформулированных в статье, определены подходы и критерии, необходимые для обеспечения эколого-ориентированного комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых.

Список литературы / References

1. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы обоснования параметров устойчивого и экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. В кн.: Рыльникова М.В. (ред.) *Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России*. М.: Горная книга; 2014. Вып. 2. С. 3–10.
2. Гончар Н.В., Соколовский А.В., Терешина М.А. Проект комплексного освоения георесурсов. *Рациональное освоение недр.* 2023;(3):38–44. Режим доступа: https://www.ustup.ru/netcat_files/99/573/Ron_3_23_Gonchar_Sokolovskiy_Tereshina.pdf (дата обращения: 09.06.2025).
Gonchar N.V., Sokolovskiy A.V., Teryoshina M.A. Project of georesources comprehensive development. *Ratsionalnoe Osvoenie Nedr.* 2023;(3):38–44. (In Russ.) Available at: https://www.ustup.ru/netcat_files/99/573/Ron_3_23_Gonchar_Sokolovskiy_Tereshina.pdf (accessed: 09.06.2025).
3. Кокоев В.Т. Эколого-экономические аспекты природопользования при добыче руд в техногенных экосистемах высокогорья. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2020;10(11-1):220–229. Режим доступа: http://www.publishing-vak.ru/file/archive-economy-2020-11/22-kokoev.pdf (дата обращения: 09.06.2025).
Kokoev V.T. Ecological and economic aspects of nature management during ore mining in technogenic ecosystems of high mountains. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow.* 2020;10(11A):220–229. (In Russ.) Available at: http://www.publishing-vak.ru/file/archive-economy-2020-11/22-kokoev.pdf (accessed: 09.06.2025).
4. Tibbett M. (ed.) Mining in Ecologically Sensitive Landscapes. CSIRO Publishing; 2015. 288 p. https://doi.org/10.1071/9780643106369
5. Sengupta M. *Environmental Impacts of Mining: Monitoring, Restoration, and Control.* 2nd ed. CRC Press; 2021. 374 p. https://doi.org/10.1201/9781003164012
6. Даванков А.Ю., Оленьков В.Д., Гордеев С.С., Пряхин Г.Н., Косарева Г.А., Постников Е.А. и др. *Социально-экономические направления нейтрализации негативных последствий техногенеза:* научный доклад. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН; 2017. 40 с.

7. 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
8. Aftab T. (ed.) *Sustainable Management of Environmental Contaminants: Eco-friendly Remediation Approaches.* Cham: Springer; 2022. 551 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08446-1
9. Гуман О.М., Грязнов О.Н., Антонова И.А., Макаров А.Б., Захаров А.В. *Эколого-геологические условия и мониторинг окружающей среды полигонов твердых бытовых отходов Среднего Урала.* Екатеринбург: ООО «УИПЦ»; 2013. 237 с.
10. Голик В., Дмитрак Ю., Габараев О., Кожиев Х. Минимизация влияния горного производства на окружающую среду. *Экология и промышленность России.* 2018;22(6):26–29. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-6-26-29
Golik V., Dmytrak Yu., Gabaraev O., Kozhiev Kh. Minimizing the Impact of Mining on the Environment. *Ecology and Industry of Russia.* 2018;22(6):26–29. (In Russ.). https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-6-26-29
11. Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Дмитрак Ю.В., Шяймартдянов Т.Э. Взаимодействие природных и технических систем обеспечения сбалансированности земной поверхности при освоении недр. *Геология и геофизика Юга России.* 2018;(4):33–44. https://doi.org/10.23671/VNC.2018.4.20132
Golik V.I., Burdzieva O.G., Dmitrak Yu.V., Sheymartdyanov T.E. Interaction of natural and technical systems for ensuring balance of earth surface when developing bowelsin. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2018;(4):33–44. (In Russ.) https://doi.org/10.23671/VNC.2018.4.20132
12. Месарович М., Такахара Я. *Общая теория систем. Математические основы.* М.: Мир; 1978. 311 с. Режим доступа: https://djvu.online/file/3BTjQOAa9JR78 (дата обращения: 07.06.2025).
13. Трубецкой К.Н. (ред.) *Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых.* М.: ИПКОН РАН; МедиаМир; 2014. 196 с. Режим доступа: https://www.geokniga.org/books/26756 (дата обращения: 09.06.2025).
14. Araujo F.S.M., Taborda-Llano I., Nunes E.B., Santos R.M. Recycling and reuse of mine tailings: A review of advancements and their implications. *Geosciences.* 2022;12(9):319. https://doi.org/10.3390/geosciences12090319
15. Пашкевич М.А., Исаков А.Е., Кремчеев Э.А. и др. *Анализ технической возможности и экологической безопасности проведения работ по ликвидации отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» с использованием закладочного материала на основе хвостов обогатительной фабрики АО «Томинский ГОК» с выдачей рекомендаций для проектирования.* СПб.: Санкт-Петербургский горный университет; 2016.
16. Соколовский А.В., Лапаев В.Н., Темникова М.С., Гордеев А.И. Технологические особенности ликвидации разреза «Коркинский». *Уголь.* 2018;(3):91–95. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-3-91-95
Sokolovskiy A.V., Lapaev V.N., Temnikova M.S., Gordeev A.I. Assessment of the possibility of the Korkinsky open-pit mine liquidation by filling with thickened tailings of enrichment. *Ugol'.* 2018;(3):91–95. (In Russ.). https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-3-91-95

Информация об авторах
Гончар Наталия Валериевна – кандидат технических наук, заслуженный эколог Российской Федерации, вице-президент по инжинирингу, промышленной и экологической безопасности, АО «Русская медная компания», г. Екатеринбург, Российская Федерация
Пикалов Вячеслав Анатольевич – доктор технических наук, начальник отдела, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация
Соколовский Александр Валентинович – доктор технических наук, генеральный директор, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация; e-mail: avs@ustup.ru
Терешина Мария Александровна – кандидат экономических наук, первый заместитель генерального директора, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация

Информация о статье
Поступила в редакцию: 07.09.2025
Поступила после рецензирования: 27.10.2025
Принята к публикации: 14.11.2025

Information about the authors
Natalia V. Gonchar – Cand. Sci. (Eng.), Honored Ecologist of the Russian Federation, Vice-President of Safety and Environment, Russian Copper Company Limited, Ekaterinburg, Russian Federation
Vyacheslav A. Pikalov – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation
Alexander V. Sokolovsky – Dr. Sci. (Eng.), General Manager of Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation; e-mail: avs@ustup.ru
Maria A. Tereshina – Cand. Sci. (Econ.), First Deputy CEO, Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

Article info
Received: 07.09.2025
Revised: 27.10.2025
Accepted: 14.11.2025