

# Экологосбалансированная геотехнология освоения природных и техногенных георесурсов

Н.В. Гончар<sup>1</sup>, В.А. Пикалов<sup>2</sup>, А.В. Соколовский<sup>2</sup>✉, М.А. Терешина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Русская медная компания», г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «Научно-технический центр – Геотехнология» (НТЦ-Геотехнология), г. Челябинск, Российская Федерация

✉ avs@ustup.ru

**Резюме:** Ежегодно образуется более 9 млрд т отходов производства и потребления, из них около 90% приходится на добычу полезных ископаемых, в том числе более 70% – на добычу угля и около 25% – на добычу металлических руд. Решение вопросов, связанных с обращением отходов горнодобывающего производства, является весьма актуальным и затрагивает целый ряд аспектов в области законодательства, научно-методического и проектного обеспечения, технико-технологических решений. Для снижения негативных последствий размещения такого значительного объема отходов сформирована государственная концепция рационального природопользования, которая нацелена на регулирование их использования и вовлечение в хозяйственный оборот. Законодательные инициативы стимулируют экологическую ориентированность отработки месторождений и комплексное использование георесурсов. Это приводит к необходимости развития научной базы проектирования горнотехнических систем и к поиску новых экологосбалансированных технико-технологических решений по разработке месторождений. Примерами масштабного и успешного использования экологосбалансированных решений являются проекты освоения Михеевского и Тарутинского месторождений, на которых при углубочной системе разработки предусматривается закладка выработанного пространства с использованием вскрышных пород, размещение отвалов осуществляется как с учетом максимального сохранения лесного массива, так и для обеспечения естественного проветривания карьеров. На Михеевском ГОКе реализуется решение по совмещению строительства отвала и дамбы хвостохранилища. В проектах ликвидации Александринского рудника и Коркинского угольного разреза предусмотрено использование складочного материала, приготовленного на основе хвостов обогащения. Такие решения обеспечивают как ликвидацию накопленного вреда, так и сокращение образования текущих отходов.

**Ключевые слова:** отходы производства, экологическая сбалансированность, геотехнология, профилактические решения, компенсирующие решения

**Для цитирования:** Гончар Н.В., Пикалов В.А., Соколовский А.В., Терешина М.А. Экологосбалансированная геотехнология освоения природных и техногенных георесурсов. *Горная промышленность*. 2024;(4):68–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-68-73>

## Environmentally balanced geotechnology for development of natural and man-made geological resources

N.V. Gonchar<sup>1</sup>, V.A. Pikalov<sup>2</sup>, A.V. Sokolovsky<sup>2</sup>✉, M.A. Tereshina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian Copper Company Limited, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

✉ avs@ustup.ru

**Abstract:** More than 9 billion tons of industrial and consumption wastes are generated annually, of which about 90% are from mining of minerals, including the share of over 70% from coal mining and about 25% from metal ore mining. Tackling the issues related to mining waste management is a highly topical task that involves a number of aspects in the fields of legislation, scientific, methodological and design support, as well as technical and technological solutions. In order to reduce the negative consequences associated with the disposal of such a significant amount of waste, a governmental concept of rational nature management has been formulated, which aims to regulate its use and economic rehabilitation. Legislative initiatives stimulate environmentally conscious mining and comprehensive use of georesources. This calls for the development of a scientific basis for designing mining engineering systems and the search for new environmentally balanced technical and technological solutions for deposit development. Examples of large-scale and successful use of ecologically balanced solutions are the development

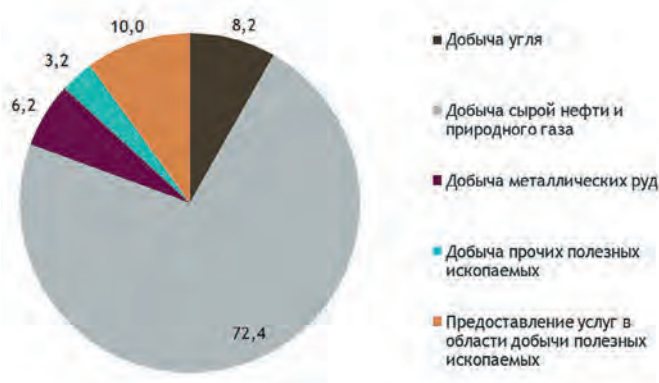
projects of the Mikheyevskoye and Tarutinskoye deposits, where, in the case of the sinking mining system, the overburden is planned to be used for filling the mined-out space, and the dumps are placed both taking into account the maximum preservation of the forest area and to ensure natural ventilation of the open pits. At Mikheyevsky GOK, a solution is being implemented to combine the construction of a dump site and a tailings dam. The projects for abandonment of the Alexandrinsky mine and the Korkinsky coal mine include the use of mill tailing as the basis for the backfill material preparation. Such solutions ensure both elimination of accumulated damage and reduction of current waste generation.

**Keywords:** industrial waste, environmental balance, geotechnology, preventive solutions, compensating solutions

**For citation:** Gonchar N.V., Pikalov V.A., Sokolovsky A.V., Tereshina M.A. Environmentally balanced geotechnology for development of natural and man-made geological resources. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):68–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-68-73>

## Введение

Добыча полезных ископаемых остается одной из ведущих отраслей промышленности России, устойчиво занимая долю в ВВП России в текущих ценах на уровне 11%. Из этого числа около 70% приходится на долю нефти и природного газа, и только 18% на долю твердых полезных ископаемых<sup>1</sup> (рис. 1).



**Рис. 1**  
Структура добычи полезных ископаемых

**Fig. 1**  
Structure of mineral mining

Обратная ситуация с образованием отходов производства и потребления. Из более чем 9,0 млрд т ежегодно образующихся отходов производства и потребления около 90% приходится на добычу полезных ископаемых, из них более 70% приходится на добычу угля и около 25% – на добычу металлических руд<sup>2</sup>.

В результате размещения такого значительного объема отходов оказывается негативное влияние на все элементы окружающей среды – изымаются значительные площади земель, ухудшается природный ландшафт, снижается качество жизни населения прилегающих территорий [1–3].

Решение вопросов, связанных с обращением отходов горнодобывающего производства, является весьма актуальным и затрагивает целый ряд аспектов в области законодательства, научно-методического и проектного обеспечения, технико-технологических решений [4; 5].

На этом фоне сформирована государственная концепция рационального природопользования, которая нацелена на снижение объема образуемых отходов, вовлечение отходов в хозяйственный оборот и регулирование их использования.

В 2023 г. принят ряд законодательных актов, регулирующих обращение с отходами недропользования, которые определяют направления использования отходов, обеспечивают возможность не вносить плату за отходы, используемые на различные нужды предприятия, а также определяют порядок подготовки проектной и разрешительной документации, в которой указываются направления, объемы и сроки использования вскрышных и вмещающих горных пород.

Данные законодательные решения стимулируют экологическую ориентированность отработки месторождений и комплексное использование георесурсов, что, в свою очередь, приводит к необходимости развития научной базы проектирования горнотехнических систем и к поиску новых экологосбалансированных технико-технологических решений по разработке месторождений.

По мнению авторов, снижение негативного воздействия на окружающую среду при добыче полезных ископаемых возможно за счет развития и совершенствования геотехнологий, направленных на повышение полноты использования природных, природно-техногенных и техногенных георесурсов, а также принятия экологически сбалансированных горнотехнических решений [5; 6].

## Методические положения

Сущность экологически сбалансированной геотехнологии в комплексном освоении георесурсов, при котором одни природные и техногенные объекты могут быть использованы для создания, эксплуатации, ликвидации, размещения и рекультивации других объектов с одновременным снижением антропогенной нагрузки, улучшением экологической обстановки, а также восстановлением окружающей среды и ландшафтов.

Экологосбалансированная технология разработки твердых полезных ископаемых нацелена на компенсацию неизбежных негативных воздействий, возникающих во всех технологических процессах горнодобывающего производства, эколого-восстанавливающими решениями, реализуемыми не только на всех стадиях жизненного цикла горнодобывающего предприятия, но и за его пределами.

<sup>1</sup> Динамика промышленного производства в России: опережающий рост добывающего сектора. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 2019. 28 с.

<sup>2</sup> О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова; 2023. 686 с.

В основу экологосбалансированной геотехнологии закладываются:

- природно-технические возможности месторождения и территории вокруг него (наличие выработанных пространств, водных, земельных ресурсов, потребителей переработанных отходов и т.п.) [7; 8];
- профилактические и компенсирующие воздействия, которые определяются природно-техническими возможностями конкретного предприятия, снижают антропогенную нагрузку и имеют эколого-восстанавливающую направленность [9; 10];
- производственно-экологический мониторинг, осуществляемый с целью контроля эколого-технологической сбалансированности и последствий реализации профилактических и компенсирующих воздействий [11].

**Результаты**

Применение экологосбалансированной технологии предполагает комплексное использование профилактических и компенсирующих технологических решений, ключевыми из которых являются [12–15]:

- переработка и использование отходов производства;
- использование техногенных пространств и сооружений;
- водосбережение и замкнутое водопользование;
- снижение землеемкости посредством рационального отвалообразования и складирования.

Рассмотрим подробнее каждое направление, а также конкретные примеры профилактических и компенсирующих технологических решений.

Решения по использованию отходов рассматриваются как в разделах проекта, так могут быть представлены и отдельными проектами. Эти решения, как правило, направлены на:

- расширение областей использования вскрышных и вмещающих пород при строительстве;

– углубленную переработку отходов с целью извлечения полезных компонентов;

– использование в качестве закладочных и строительных материалов как с предварительной подготовкой, так и без нее.

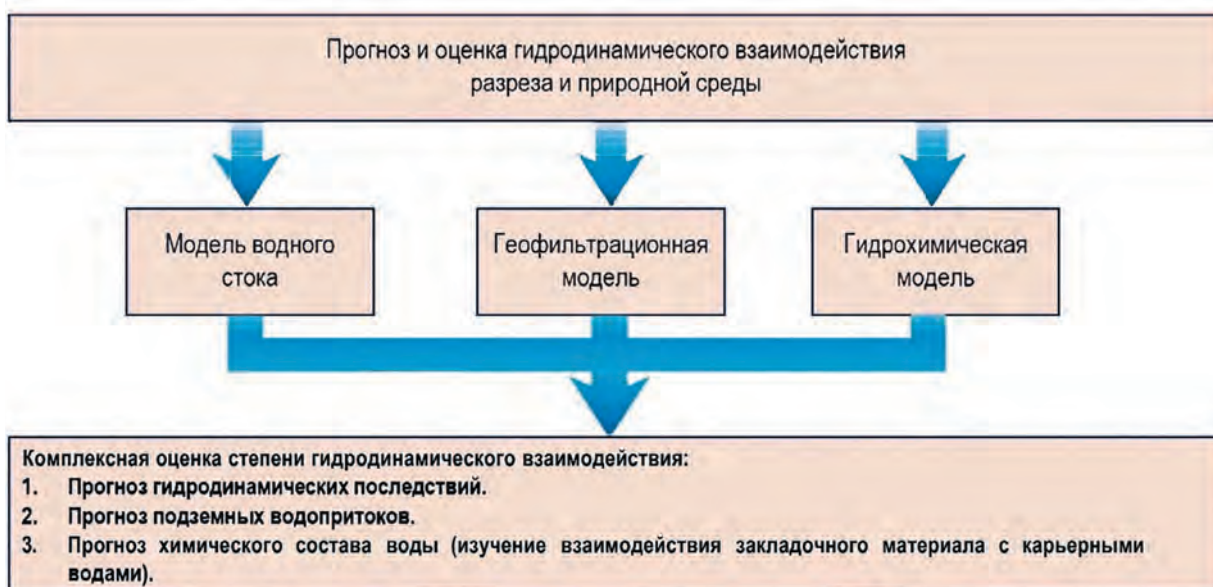
Для разработки таких решений необходимо дополнительное изучение свойств отходов с целью поиска направлений применения в качестве техногенного ресурса или новых материалов. Как правило, требуется изменение подходов к складированию отходов с целью обеспечения эффективности их дальнейшего применения, сохранности полезных свойств и компонентов [16].

Для оценки воздействия на окружающую среду производятся масштабные исследования и моделирование последствий использования техногенных ресурсов<sup>3</sup>.

Так, в случае использования хвостов обогатительных фабрик в качестве основы для производства закладочного материала предварительно исследуются физико-химические процессы, происходящие в закладочном материале, делается прогноз водоотдачи и скорости осаждения твердых частиц при различных условиях. Особое внимание при оценке последствий использования закладочного материала, изготовленного из хвостов обогащения, уделяется гидродинамическому и геомеханическому моделированию. Минимальный состав гидродинамических моделей представлен на рис. 2.

На заключительном этапе подбирается оборудование для приготовления закладочного материала. Зачастую это оборудование уникальное.

Следующее направление экологосбалансированных решений – рациональное размещение и складирование отходов. Эти решения направлены на расширение области применения закладки выработанного пространства карьеров с использованием пород вскрыши, проведение временной либо частичной рекультивации складов и отвалов, осуществляемой в ходе ведения горных работ для



**Рис. 2**  
**Схема гидродинамического моделирования последствий экологически сбалансированного освоения техногенных георесурсов**

**Fig. 2**  
**A schematic diagram of hydrodynamic modeling of the consequences of ecologically balanced development of man-made georesources**

<sup>3</sup> Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование геомеханических и геодинамических условий в области влияния разреза «Коркинский» и разработка методических рекомендаций по возможным вариантам его ликвидации, организации и развертывания системы полномасштабного геофизического и гидро-геомеханического и научного мониторинга за состоянием прибортового массива, обеспечивающих безопасность окружающей социальной и промышленной инфраструктуры. Екатеринбург: ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук»; 2014. 421 с.



**Рис. 3**  
Проектируемый результат  
совмещения рекультивации и  
отсыпки отвалов

**Fig. 3**  
A projected result of  
combined reclamation and  
dump construction

исключения пыления, повышения коррозионной стойкости откосов, снижения воздействия на атмосферный воздух, улучшения эстетики окружающего ландшафта. Одним из способов осуществления временной рекультивации является применение гидропосева травянистой растительности.

На рис. 3 представлен результат временной рекультивации, совмещенной с отсыпкой отвалов.

Для принятия проектных решений с использованием закладки выработанного пространства при углубочной системе разработки и с временной либо частичной рекультивацией необходимо обоснование режима горных работ, последовательности отсыпки отвалов и складов с учетом параллельного выполнения рекультивационных работ.

Перспективным решением является совмещение строительства отвалов и хвостохранилищ. Вариант такого решения представлен на рис. 4

Для разработки подобных решений необходимо изменение подходов к формированию конструкций отвалов и хвостохранилищ, изучение закономерностей их устой-

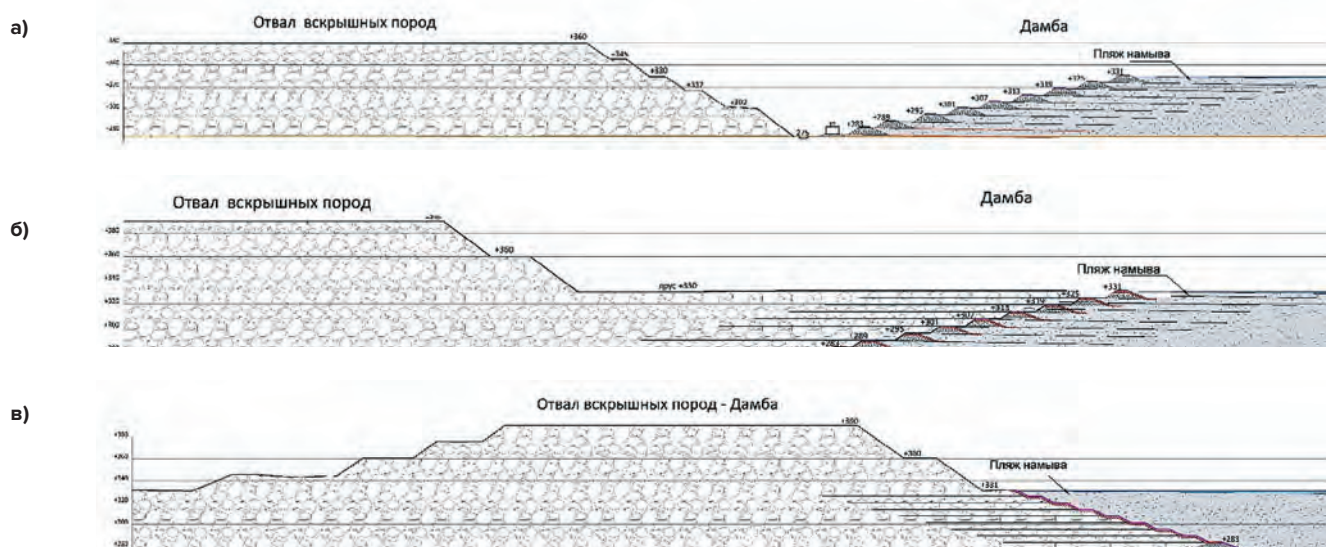


**Рис. 5**  
Структура схемы системы  
оборотного водоснабжения

**Fig. 5**  
A structural scheme of the  
recycling water supply system

чивости, обоснование порядка и технологии отсыпки отвала с напорной стороны. Решения, направленные на рациональное водопользование, включают как традиционный сбор карьерных и подотвальных вод для их использования в оборотном водоснабжении, так и применение локальных и мобильных водоочистных установок для исключения сброса загрязненных вод в водные объекты. Для разработки подобных решений необходимо углубленное изучение гидрометеорологических и гидрологических условий территории, изучение качества воды с целью использования для технологических нужд без предварительной либо с частичной очисткой. Зачастую требуется изменение подходов к сбору воды с мест производства работ.

Пример сложных систем водосбора и водоотведения представлен на рис. 5. Для сбора карьерных и подотваль-



**Рис. 4**  
Варианты совмещения отвала и дамбы хвостохранилища:  
а – традиционная отсыпка; б – совмещение отсыпки отвала и  
строительства дамбы хвостохранилища; в – отвал-дамба  
хвостохранилища

**Fig. 4**  
Options for combined construction of a dump site and a tailings  
dam: а – traditional dumping; б – combined construction of a  
dump site and a tailings dam; в – a waste dump and a tailings dam  
in one



**Рис. 6**  
**Пример размещения отвалов и складов с учетом сохранения лесных участков**

**Fig. 6**  
**An example of dumps and stockpiles location with account for preservation of the forest areas**

ных вод предусмотрена система прудов-накопителей и насосных станций, последовательно перекачивающих воду в хвостохранилище. В системе более 15 прудов. Протяженность трубопроводов более 20 км, около 10 км нагорных и водосборных канав.

Примерами масштабного и успешного использования экологосбалансированных решений являются проекты освоения Михеевского и Тарутинского месторождений, на которых при углубочной системе разработки предусматривается закладка выработанного пространства с использованием вскрышных пород, размещение отвалов осуществляется как с учетом максимального сохранения лесного массива, так и для обеспечения естественного проветривания карьеров (рис. 6).

На Михеевском ГОКе реализуется решение по совмещению строительства отвала и дамбы хвостохранилища. В проектах ликвидации Александринского рудника и Коркинского угольного разреза предусмотрено использование складочного материала, приготовленного на основе хвостов обогащения. Такие решения обеспечивают как ликвидацию накопленного вреда, так и сокращение образования текущих отходов.

**Выводы**

Снижение антропогенного воздействия горнодобывающих предприятий на окружающую среду возможно при использовании экологосбалансированной геотехнологии, нацеленной на компенсацию неизбежных негативных воздействий эколого-восстанавливающими решениями, реализуемыми не только на всех стадиях жизненного цикла горнодобывающего предприятия, но и за его пределами.

Данные решения, основанные на концепции экологического баланса, требуют проведения дополнительных исследований, углубленного обоснования технико-технологических параметров, изменения подходов к порядку и методам проектирования, но позволяют существенно сократить негативное воздействие на природно-социальное окружение.

**Список литературы / References**

1. Кокоев В.Т. Эколого-экономические аспекты природопользования при добыче руд в техногенных экосистемах высокогорья. *Экономика: вчера, сегодня, завтра.* 2020;10(11A):220–229. Режим доступа: <http://www.publishing-vak.ru/file/archive-economy-2020-11/22-kokoev.pdf> (дата обращения: 09.06.2024).  
 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: 09.06.2024).
2. Azcue J.M. (ed.) *Environmental impacts of mining activities: Emphasis on mitigation and remedial measures.* Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 1999. 300 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59891-3>
3. Tibbett M. (ed.) *Mining in Ecologically Sensitive Landscapes.* CSIRO Publishing; 2015. 288 p. <https://doi.org/10.1071/9780643106369>
4. 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.
5. 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>

6. 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](https://www.ustup.ru/netcat_files/99/573/Ron_3_23_Gonchar_Sokolovskiy_Tereshina.pdf) (дата обращения: 09.06.2024).  
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](https://www.ustup.ru/netcat_files/99/573/Ron_3_23_Gonchar_Sokolovskiy_Tereshina.pdf) (accessed: 09.06.2024).
7. Мироненко В.А., Румынин В.Г. *Проблемы гидрогеоэкологии*. Том 3. Прикладные исследования (книга 1). М.: Изд-во МГГУ; 2002. 312 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/1906> (дата обращения: 09.06.2024).
8. Sengupta M. *Environmental Impacts of Mining: Monitoring, Restoration, and Control*. 2<sup>nd</sup> ed. UK: CRC Press; 2021. 374 p. <https://doi.org/10.1201/9781003164012>
9. Даванков А.Ю. (ред.) *Социально-экономические направления нейтрализации негативных последствий техногенеза: научный доклад*. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН; 2017. 40 с.
10. Aftab T. (ed.) *Sustainable Management of Environmental Contaminants: Eco-friendly Remediation Approaches*. Springer Cham; 2022. 551 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-08446-1>
11. 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.
12. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Кожиев Х.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.I., Dmytrak Yu.V., Gabaraev O.Z., Kozhiev Kh.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>
13. 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., Dmytrak 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>
14. Трубецкой К.Н. (ред.) *Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых*. М.: ИПКОН РАН; 2014. 196 с. <https://www.geokniga.org/books/26756>
15. Spitz K., Trudinger J. *Mining and the Environment: From Ore to Metal*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press; 2019. 812 p.
16. 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>

**Информация об авторах**

**Гончар Наталия Валерьевна** – кандидат технических наук, заслуженный эколог Российской Федерации, вице-президент по экологической и промышленной 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

**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: 07.06.2024

Revised: 23.07.2024

Accepted: 24.07.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 07.06.2024

Поступила после рецензирования: 23.07.2024

Принята к публикации: 24.07.2024