

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.271

DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-14-21



РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ОТВАЛООБРАЗОВАТЕЛЯ

Чебан А.Ю.

Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия

Аннотация. Актуальность исследования. В связи с увеличением потребления металлов и снижением содержания полезных компонентов в рудах объем извлекаемой из недр горной массы ускоренно возрастает. Не имеющие промышленного значения вскрышные и минерализованные вмещающие породы складываются в отвалы, площадь которых непрерывно увеличивается. Необходимо отметить, что при разработке месторождений цветных и благородных металлов вместе с минерализованными вмещающими породами в отвалы попадает и безвозвратно теряется существенное количество полезных компонентов. Исследования показывают, что мелкая фракция минерализованных вмещающих пород в ряде случаев обогащена полезным компонентом и имеет содержание металла, достаточное для рентабельной переработки методом кучного выщелачивания совместно с бедными рудами. Известные технологии бульдозерного формирования отвалов не обеспечивают возможности отделения кондиционной мелкой фракции. **Цель работы.** Обоснование ресурсосберегающей технологии формирования отвалов, обеспечивающей повышение извлечения полезного компонента при разработке месторождений цветных и благородных металлов, а также уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду за счет выделения из минерализованных вмещающих пород, направляемых в отвал, мелкой фракции с кондиционным содержанием полезного компонента посредством модернизированного отвалообразователя. **Результаты.** В статье предлагается технология формирования отвалов, заключающаяся в циклической перевалке горной массы из автосамосвала под откос посредством грузонесущего органа модернизированного отвалообразователя с выделением посредством просеивающих устройств кондиционной мелкой фракции в накопитель, перемещении системой пневмотранспортирования полученной мелкой фракции из накопителя в контейнер с последующим направлением на переработку, а также периодическом передвижении отвалообразователя с одновременным разравниванием бульдозерным оборудованием гребня ранее отсыпанного слоя горной массы. **Выводы.** Отделение мелкой фракции, обогащенной полезным компонентом, непосредственно во время погрузочно-разгрузочного процесса позволяет существенно уменьшить пыление отвалов, минимизировать гипергенные изменения кондиционной мелкой фракции и получить дополнительный источник сырья с сохраненным природным качеством.

Ключевые слова: отвал, большегрузные автосамосвалы, минерализованные вмещающие породы, колосники, грохот, мелкая фракция, полезный компонент, кучное выщелачивание

© Чебан А.Ю., 2024

Для цитирования

Чебан А.Ю. Ресурсосберегающая технология формирования отвалов с использованием модернизированного отвалообразователя // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 14-21. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-14-21>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR DUMP FORMATION USING A MODERNIZED SPREADER

Cheban A.Yu.

Mining Institute, the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract. Relevance. Due to an increase in the consumption of metals and a decrease in the content of useful components in ores, the volume of rock mass extracted from the depths increases rapidly. Overburden and mineralized host rocks of no industrial importance are stored in dumps, whose area continuously increases. It should be noted that when developing deposits of non-ferrous and noble metals, a significant amount of useful components ends up in dumps together with mineralized host rocks and is irretrievably lost. Research shows that in some cases the fine fraction of mineralized host rocks is enriched with a commercial component and has a metal content sufficient for profitable processing by heap leaching together with low-grade ores. Known technologies for bulldozer dumps do not provide for separating the standard fine fraction. **Objective.** The study aims at providing a rationale for the resource-saving technology for dump formation, ensuring an increased extraction of commercial components, when developing deposits of non-ferrous and noble metals, as well as reducing the industry-related load on the environment by separating fine fractions with the standard content of the commercial component from the mineralized host rocks delivered to the dump, using a modernized spreader. **Results.** The article proposes the technology for dump formation, which consists in the cyclic transfer of rock mass from a dump truck downhill using the load-carrying body of the modernized spreader and screening a conditioned fine fraction into a storage unit, delivering the resulting fine fraction from the storage facility into a container with a pneumatic transportation system for processing, as well as periodic movement of the spreader and simultaneous leveling of the ridge of the previously dumped layer of rock mass with bulldozer equipment. **Conclusions.** The separation of fine fractions with an enriched commercial component directly during the loading and unloading process can significantly reduce dust in dumps, minimize hypergene changes in the standard fine fraction and obtain an additional source of raw materials of the preserved natural quality.

Keywords: dump, heavy-duty dump trucks, mineralized host rocks, grate bars, screen, fine fraction, commercial component, heap leaching

For citation

Cheban A.Yu. Resource-Saving Technology for Dump Formation Using a Modernized Spreader. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 14-21. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-14-21>

Введение

Во всем мире растет добыча и потребление металлов. Так, за период с 1987 по 2014 годы добыча меди увеличилась в 2,85 раза, никеля – в 4,46 раза, свинца – в 2,48 раза, цинка – в 2,72 раза, при этом в связи с истощением наиболее качественных запасов минерального сырья в отработку вовлекаются руды со все более низким содержанием металлов [1-3]. Согласно данным работы [4], в доказанных запасах РФ среднее содержание золота за период с 1991 по 2012 годы снизилось с 4,3 до 2,4 г/т (в 1,8 раза), при этом руды крупных месторождений со средним содержанием металла 1,7-2,4 г/т составляют около 70% запасов. На Талнахском месторождении за период с 2008 по 2021 годы среднее содержание меди в руде снизилось с 3,17 до 1,24%, а содержание никеля – с 1,73 до 0,63%, при этом в 1998 году содержание меди и никеля в добываемых рудах месторождения составляло 4,15 и 2,75% соответственно [5]. Таким образом, из недр извлекаются постоянно увеличивающиеся объемы кондиционных и некондиционных руд, минерализованных вмещающих и вскрышных пород, при этом для повышения произво-

дительности и снижения себестоимости добычных работ используется все более мощная выемочная и транспортная техника. Не имеющие промышленного значения горные породы складированы в отвалы, площадь которых непрерывно возрастает, необходимо отметить, что вместе с минерализованными вмещающими породами в отвалы попадает и безвозвратно теряется существенное количество полезного компонента [6]. Повысить эффективность горного производства возможно за счет разработки и применения ресурсосберегающих технологий, направленных на повышение извлечения полезного компонента и уменьшения загрязнения окружающей среды [7-11].

Состояние вопроса и постановка проблемы

Вовлечение в переработку части минерализованных вмещающих пород в некоторых случаях позволяет существенно расширить объем минерально-сырьевой базы месторождений [12, 13]. Так, для месторождения Мурунтау рассматривается вариант вовлечения в переработку с применением метода кучного выщелачивания минерализованных вмещающих пород с содержанием золота 0,25-0,5 г/т, что позволит

увеличить выход руды с 28 до 60% с одновременным ростом количества извлекаемого золота на 14% [14]. Зачастую низкое среднее содержание металла в техногенных отходах делает их переработку нерентабельной, однако для многих руд, а также минерализованных вмещающих пород после их взрывного рыхления характерно обогащение мелкой фракции полезным компонентом [15], переработка такой фракции, в случае ее выделения из основного объема пород, может быть экономически целесообразной.

С участием автора были проведены экспериментальные исследования по определению содержания полезного компонента во взорванных минерализованных вмещающих породах одного из золоторудных месторождений, разделенных по классам крупности. Было выявлено, что в классах крупности -2+0 и -5+2 мм содержание золота составляет соответственно 0,51 и 0,31 г/т при выходе данных классов крупности по массе 7,6 и 4,9%, при этом среднее содержание золота в пробе минерализованных вмещающих пород составляло 0,15 г/т [16]. Таким образом, в объединенном классе крупности -5+0 мм при выходе по массе 12,5% и содержании 0,43 г/т находится около 36% металла, очевидно, что в минерализованных вмещающих породах со средним содержанием золота 0,2-0,3 г/т в отделенном классе крупности -5+0 мм можно ожидать более значительного содержания металла, это позволит рентабельно перерабатывать полученное техногенное сырье с применением метода кучного выщелачивания. Наиболее производительным, организационно и технически легко осуществяемым является выделение кондиционных мелких фракций в процессе отвалообразования.

Применяемые способы отвалообразования зависят от свойств горных пород, а также вида транспорта, применяемого для перемещения горной массы из карьера. Формирование отвалов из крепких горных пород осуществляется с использованием бульдозеров, драглайнов, плужных отвалообразователей и другого оборудования [17]. В настоящее время ведутся исследования, направленные на повышение эффективности процесса отвалообразования путем повышения производительности и безопасности ведения работ, уменьшения площадей, занимаемых отвалами, снижения техногенной нагрузки на окружающую среду за счет уменьшения пыления отвалов, а также выделения из минерализованной горной массы, направляемой в отвал кондиционной составляющей [18-21]. Грузоподъемность многих современных автосамосвалов составляет 110-250 т и более [17], при такой массе машина имеет высокую производительность, но оказывает большое давление на грунт, что влияет на ее проходимость и безопасность разгрузки, поскольку превышение допустимого давления может вызвать деформацию кромки отвала в виде оползней. В работе [18] для интенсификации использования большегрузных автосамосвалов в случае наличия глубоких логов и слабых подстилающих пород предлагается технологическая схема отвалообразования с

применением отвального перегружателя, выполняющего вспомогательную функцию перемещения горных пород из автосамосвала в приямок, из которого ведет черпание экскаватор-драглайн.

При бульдозерном отвалообразовании и транспортировке горной массы большегрузными автосамосвалами, во избежание оползней и опрокидывания автосамосвалов разгружаются вдали от откосов, в связи с чем растет количество задействованных бульдозеров. В работе [19] предлагается конструктивная схема вибрационного отвалообразователя для работы совместно с большегрузными автосамосвалами. Автосамосвал задним ходом заезжает в грузонесущий орган отвалообразователя, имеющего большую опорную поверхность и стоящего у кромки формируемого яруса, и разгружает горную массу. После выезда автосамосвала грузонесущий орган поднимается и посредством вибротранспортирующих устройств разгружает горную массу под откос. Вибрационный отвалообразователь своим ходом последовательно перемещается вдоль кромки яруса, а бульдозером ведется планировка площадки для его перемещения. Применение вибрационного отвалообразователя для условий Ломоносовского ГОКа ОАО «Севералмаз» при работе в комплекте с автосамосвалами грузоподъемностью 90 т согласно расчетам [19] позволит сократить парк бульдозеров на 67%; увеличить пропускную способность отвального фонда в 2,5 раза; снизить эксплуатационные расходы на 42%. В исследовании [20] для формирования отвалов предлагается механизированный комплекс, состоящий из вибрационного отвалообразователя и устройства для формирования устойчивого отвального массива, оснащенного бульдозерным отвалом и блоками для статического и динамического уплотнения складываемой горной массы. Недостатками технико-технологических решений [19, 20] являются: необходимость применения дополнительного оборудования для планирования площадки при перемещении отвалообразователя вдоль кромки отсыпаемого яруса; относительно высокие удельные давления колесной ходовой части отвалообразователя, что может затруднить его перемещение.

Известна технологическая схема отвалообразования с применением экскаватора-драглайна, автосамосвалов и отвального перегружателя, снабженного колосниками и просеивающими поверхностями, обеспечивающая выделение из минерализованных вмещающих пород мелкой фракции, обогащенной полезным компонентом [16]. Автосамосвал задним ходом подъезжает к отвальному перегружателю и разгружает горную массу на колосники, крупнокусковая горная масса по поверхности колосников сыпается в приямок, из которого черпается экскаватор-драглайном, а на просеивающих поверхностях осуществляется среднее и мелкое грохочение, в результате которого выделяется продуктивная мелкая фракция, при этом надрешетные фракции такжесыпаются в приямок. Недостатком конструктивной схемы отвального перегружателя является неравномерная подача горной массы при разгрузке автосамосва-

ла по ширине колосников и просеивающих поверхностей (в средней продольной части слой горной массы толще, а к бортам – тоньше), в связи с чем периферийная часть просеивающих поверхностей недозагружена, а в средней части возможны потери мелкой фракции вместе с более крупной горной массой, ссыпавшейся в приямок. Также необходимо отметить, что отвальный перегружатель данной конструкции имеет ограниченное применение, поскольку в настоящее время при формировании отвалов наиболее широкое применение получила бульдозерная схема.

Большие объемы накопленных вскрышных и минерализованных вмещающих пород создают серьезные экологические проблемы в горнопромышленных регионах [22-24]. Так, сульфидосодержащие техногенные отходы относятся к группе наиболее экологически опасных, при добыче и обогащении руд цветных металлов теряется до 15% меди, молибдена, свинца, до 25% цинка и никеля, присутствующие в составе отходов сульфиды этих металлов в процессе хранения окисляются, тяжелые металлы переходят в водорастворимые соли [22]. При этом гипергенные изменения техногенных продуктов протекают значительно быстрее, чем в естественных геологических условиях, одним из факторов, интенсифицирующих процессы гипергенных изменений, является активация поверхности минералов при их дроблении. Пыление отвалов также оказывает существенное отрицательное воздействие на окружающую среду. Согласно данным работы [24], удельный вклад различных источников в выброс неорганической пыли при открытой разработке железорудных месторождений составляет: пыление техногенных массивов – 80%; пыление при отвалообразовании – 12%; взрывные работы – 5%; погрузка и транспортирование горной массы – 2%; бурение скважин – 1%. Таким образом, удаление мелких фракций из минерализованных вмещающих пород при формировании отвалов, кроме получения дополнительного объема сырья для переработки, еще и позволит снизить техногенную нагрузку на окружающую среду в районе ведения горных работ.

Целью исследования является обоснование ресурсосберегающей технологии формирования отвалов, обеспечивающей повышение извлечения полезного компонента при разработке месторождений цветных и благородных металлов, а также уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду за счет выделения из минерализованных вмещающих пород, направляемых в отвал, мелкой фракции с кондиционным содержанием полезного компонента посредством модернизированного отвалообразователя.

Результаты исследования

В Институте горного дела ДВО РАН разработана ресурсосберегающая технология формирования отвалов с применением модернизированного отвалообразователя, в качестве прототипа для которого взята конструкция, представленная в работе [19]. Модернизированный отвалообразователь включает опорную

раму 1, грузонесущий орган 2, колосники 3, грохот 4 с вибратором 5, накопитель 6, систему пневмотранспортирования мелких фракций 7, бульдозерное оборудование 8, гусеничные механизмы передвижения 9 и гидроцилиндры управления 10-12 (см. рисунок).

Модернизированный отвалообразователь посредством механизмов передвижения 9 устанавливается у кромки 13 отвального яруса 14 на спланированной площадке, при этом грузонесущий орган 2 опущен. Автосамосвал 15 задним ходом частично заезжает в грузонесущий орган 2 до контакта задних колес с упором 16, разгрузка минерализованных вмещающих пород осуществляется на приемный участок 17 грузонесущего органа 2. В средней части приемного участка установлен конический разделитель 18, который обеспечивает более равномерное распределение горной массы по ширине грузонесущего органа 2 и позволяет снизить величину ударных нагрузок на металлоконструкцию, поскольку падающая из кузова горная масса контактирует с поверхностью разделителя 18 по касательной. Порожний автосамосвал 15 выезжает из грузонесущего органа 2, после чего посредством выдвигания гидроцилиндров 10 грузонесущий орган поворачивается на шарнирах кронштейнов 19, установленных на опорной раме 1, в процессе поворота начинается пересыпание горной массы из приемного участка 17 на колосники 3. При движении горной массы вдоль колосников 3 происходит отделение крупных кусков от остального объема горной массы, которая, в свою очередь, просеивается на грохоте 4 с получением мелкой фракции, собирающейся в качестве подрешетного продукта в накопителе 6. Надрешетные продукты перемещаются вдоль поверхности колосников 3 и грохота 4 на необходимое расстояние и ссыпаются под откос. Из накопителя 6 мелкая фракция, имеющая кондиционное содержание полезного компонента, посредством системы пневмотранспортирования 7 по гибкому трубопроводу 20 направляется в контейнер (на рисунке не показан), который после загрузки перемещается специальным транспортным средством к месту переработки. Выделенная из минерализованных вмещающих пород кондиционная мелкая фракция может быть переработана отдельно или совместно с бедной рудой с применением кучного выщелачивания [25].

Количество разгрузок, которые делает отвалообразователь с одного места установки, может быть определено по формуле

$$n = \frac{H \cdot b \cdot B \cdot k}{V \cdot \sin \alpha},$$

где H – высота яруса отвала, м; b – мощность отсыпавшего отвалообразователя слоя, м; B – ширина грузонесущего органа, м; k – коэффициент, учитывающий уменьшение объема складированной горной массы в связи с удалением мелкой фракции; V – объем горной массы в кузове автосамосвала, м³; α – угол откоса яруса отвала, град.

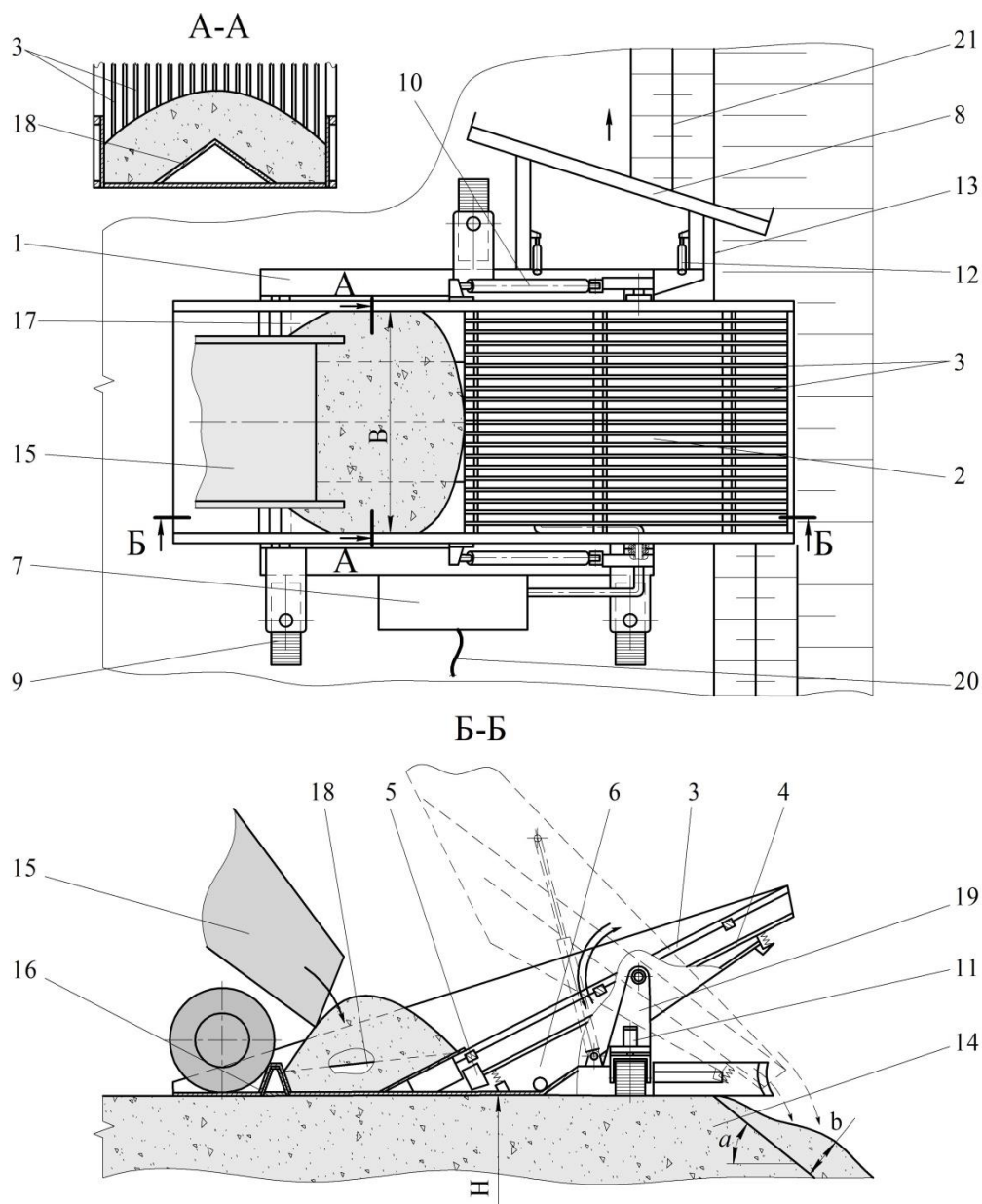


Рисунок. Схема формирования отвала с применением модернизированного отвалообразователя
 Figure. Scheme of dump formation using a modernized spreader

После отсыпки участка яруса отвала с одной остановки опорная рама 1 отвалообразователя приподнимается над поверхностью отвала гидроцилиндрами 11 гусеничных механизмов передвижения 9. Гидроцилиндрами 12 опускается бульдозерное оборудование 8 до контакта с поверхностью отвала, модернизированный отвалообразователь посредством гусеничных механизмов 9 передвижения начинает перемещение с одновременным разравниванием гребня 21 ранее отсыпанного слоя, ведя таким образом формирование отвала плужным способом. Переместившись вдоль кромки яруса на расстояние, равное ширине грузонесущего органа 2, отвалообразователь останавливается и посредством гидроцилиндров

11 опускает опорную раму на поверхность отвала, после чего цикл работы с перегрузкой горной массы из автосамосвалов повторяется.

Выводы

Автором предложена ресурсосберегающая технология формирования отвалов с применением модернизированного отвалообразователя, обеспечивающая извлечение из минерализованных вмещающих пород продуктивной мелкой фракции. Отделение мелких фракций обогащенным полезным компонентом непосредственно во время погрузочно-разгрузочного процесса позволяет минимизировать гипергенные изменения техногенного продукта и получить дополнитель-

ный источник сырья с сохраненным природным качеством. Полученный кондиционный техногенный продукт можно переработать с применением метода кучного выщелачивания. Удаление из складываемой горной массы мелких фракций обеспечит существенное уменьшение пыления отвалов и сокращение выбросов пыли непосредственно при формировании отвалов, также уменьшится миграция металлов в водную среду из пород отвалов под действием атмосферных осадков.

Оснащение приемного участка грузонесущего органа отвалообразователя коническим разделителем обеспечит снижение ударных нагрузок на конструкцию при разгрузке автосамосвала, а также более равномерное распределение горной массы по ширине грузонесущего органа, что повысит качество сортировки минерализованных вмещающих пород. Наличие в передней части отвалообразователя бульдозерного оборудования позволит вести разравнивание ранее отсыпанных пород. Применение гусеничных механизмов передвижения уменьшит удельное давление на поверхность отвала и создаст необходимое тяговое усилие для осуществления плужного отвалообразования. Внедрение предлагаемого в статье технико-технологического решения позволит увеличить коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр при разработке месторождений цветных и благородных металлов, а также снизит отрицательную нагрузку на окружающую среду.

Список источников

1. Оганесян Л.В., Мирлин Е.Г. Проблема исчерпания минерально-сырьевых ресурсов земной коры // Горная промышленность. 2019. №6. С. 100-105.
2. A transitional perspective of global and regional mineral material flows / Baninla Y., Zhang M., Lu Y., Liang R., Zhang Q., Zhou Yu., Khan K. // Resources, Conservation and Recycling. 2019, vol. 140, pp. 91-101.
3. Robben C., Wotruba H. Sensor-based ore sorting technology in mining-past, present and future // Minerals. 2019, vol. 9, no. 9, pp. 523.
4. Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования / Б.К. Михайлов, Г.В. Седелникова, Б.И. Беневольский, А.И. Романчук // Руды и металлы. 2014. №1. С. 5-8.
5. Горбачева В.Д., Чмыхалова С.В. Оценка качества медно-никелевых руд Талнахского месторождения // Горный журнал. 2023. №6. С. 68-72.
6. World mineral loss and possibility to increase ore recovery ratio in mining production / Zhang Z.X., Hou D.F., Aladejare A., Ozoji T., Qiao Y. // International Journal Of Mining Reclamation And Environment. 2021, vol. 35, no. 9, pp. 670-691.
7. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.
8. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Развитие научно-методических основ устойчивости функционирования горнотехнических систем в условиях внедрения нового технологического уклада // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. №4. С. 24-39.
9. Adams M. D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016. 980 p.
10. Properties governing the flow of solution through crushed ore for heap leaching / Robertson S.W., Van Staden P.J., Cherkaev A., Petersen J. // Hydrometallurgy. 2022, vol. 208, pp. 1-17.
11. Чеван А.Ю., Секисов Г.В. Обоснование использования комбинированной подготовки к селективной выемке руд сложноструктурных месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №3. С. 4-12.
12. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit // Minerals. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 1-11.
13. Ilankoon I.M.S.K., Tang Y., Ghorbani Y. The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry: Challenges and opportunities // Minerals Engineering. 2018, vol. 125, pp. 206-222.
14. Снитка Н.П., Наимова Р.Ш. Направления комплексного использования техногенных ресурсов при открытой разработке месторождения Мурунтау // Горный журнал. 2018. №9. С. 57-61.
15. Чеван А.Ю., Секисов А.Г. Карьерный экскаватор с рабочим оборудованием для отделения обогащенной рудной мелочи // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №1. С. 16-22.
16. Чеван А.Ю. Технология ведения отвалообразования с применением усовершенствованного отвального перегружателя // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. №3. С. 210-219.
17. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Т. 1 / под ред. К.Ю. Анистратова. М.: ООО «Система максимум», 2019. 640 с.
18. Отвальный перегружатель для мощных экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров / С.Г. Молотилов, В.К. Норри, О.Б. Кортелев, В.Н. Власов // Известия вузов. Горный журнал. 2002. №6. С. 25-31.
19. Levenson S.Ya., Gendlina L.I. Safe dumping equipment // Journal of Mining Science. 2014, vol. 50, no. 5, pp. 938-942.
20. Куликова Е.Г., Морозов А.В. Повышение безопасности формирования автомобильных отвалов на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. №5-2. С. 91-100.
21. Кантемиров В.Д., Титов Р.С. Оптимизация параметров карьерных грохотильно-перегрузочных пунктов // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. №3. С. 107-114.
22. Assessment of the environmental hazard of storing waste from mining and processing copper-nickel ores /

- Masloboev V.A., Seleznev S.G., Makarov V.D., Svetlov A.V. // *Journal of Mining Science*. 2014, vol. 50, no. 3, pp. 559-572.
23. Noble T.L., Parbhakar-Fox A., Berry R.F., Lottermoser B. Mineral dust emissions at metalliferous mine sites / *Environmental Indicators in Metal Mining*, Springer Int. Publish., Switzerland, 2017, pp. 281-306.
24. Кузнецов В.С. Оценка влияния отвалов пустой породы на состояние атмосферного воздуха при открытой разработке железорудных месторождений, расположенных в северных регионах // *Записки горного института*. 2013. Т. 203. С. 182-184.
25. Sekisov G.V., Cheban A.Y. Low-waste mining technology for structurally complex deposits with mixed-type process flows of ore extraction and processing // *Journal of Mining Science*. 2021, vol. 57, no. 6, pp. 978-985.
- tersen J. Properties governing the flow of solution through crushed ore for heap leaching. *Hydrometallurgy*. 2022;208:1-17.
11. Cheban A.Yu., Sekisov G.V. Rationale for the use of a combined preparation for selective extraction of ores from complex structure deposits. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020;18(3):4-12. (In Russ.)
12. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit. *Minerals*. 2021;11(1):1-11.
13. Ilankoon I.M.S.K., Tang Y., Ghorbani Y. The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry: Challenges and opportunities. *Minerals Engineering*. 2018;125:206-222.
14. Snitka N.P., Naimova R.Sh. Areas for the integrated use of industry-realted resources during open pit mining of the Muruntau deposit. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2018;(9):57-61. (In Russ.)
15. Cheban A.Yu., Sekisov A.G. A mining excavator with the capability to separate concentrated ore fines. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020;18(1):16-22. (In Russ.)
16. Cheban A.Yu. Technology of dumping using an improved dump loader. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [News of Tula State University. Earth Science]. 2022;(3):210-219. (In Russ.)
17. Anistratov K.Yu. *Otkrytye gornye raboty – XXI vek. Spravochnik* [Open pit mining – the 21st century. Handbook]. Volume 1. Moscow: LLC Sistema Maximum, 2019, 640 p. (In Russ.)
18. Molotilov S.G., Norrie V.K., Kortelev O.B., Vlasov V.N. Dump loader for powerful excavator-vehicle complexes of quarries. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. 2002;(6):25-31. (In Russ.)
19. Levenson S.Ya., Gendlina L.I. Safe dumping equipment. *Journal of Mining Science*. 2014;(50)5:938-942.
20. Kulikova E.G., Morozov A.V. Increasing safety of formation of truck dumps in open pits. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2022;(5-2):91-100. (In Russ.)
21. Kantemirov V.D., Titov R.S. Optimization of parameters of open pit screening and dumping stations. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of Ural State Mining University]. 2020;(3):107-114. (In Russ.)
22. Masloboev V.A., Seleznev S.G., Makarov V.D., Svetlov A.V. Assessment of the environmental hazard of storing waste from mining and processing copper-nickel ores. *Journal of Mining Science*. 2014;50(3):559-572.
23. Noble T.L., Parbhakar-Fox A., Berry R.F., Lottermoser

References

1. Oganessian L.V., Mirlin E.G. Issues of resource depletion in Earth crust. *Gornaya promyshlennost* [Mining Industry]. 2019;(6):100-105. (In Russ.)
2. Baninla Y., Zhang M., Lu Y., Liang R., Zhang Q., Zhou Yu., Khan K. A transitional perspective of global and regional mineral material flows. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019;140:91-101.
3. Robben C., Wotruba H. Sensor-based ore sorting technology in mining – Past, present and future. *Minerals*. 2019;9(9):523.
4. Mikhailov B.K., Sedelnikova G.V., Benevolsky B.I., Romanchuk A.I. Innovative technologies for processing refractory and low-grade gold ores as the basis for rational subsoil use. *Rudy i metally* [Ores and Metals]. 2014;(1):5-8. (In Russ.)
5. Gorbacheva V.D., Chmykhalova S.V. The quality control of copper-nickel ores of the Talnakh deposit. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2023;(6):68-72. (In Russ.)
6. Zhang Z.X., Hou D.F., Aladejare A., Ozoji T., Qiao Y. World mineral loss and the possibility to increase ore recovery ratio in mining production. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*. 2021;35(9):670-691.
7. Trubetskoy K.N., Shapar A.G. *Malootkhodnye i resursoberegayushchie tekhnologii pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy* [Low-waste and resource-saving technologies in open pit mining]. Moscow: Nedra, 1993, 272 p. (In Russ.)
8. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Development of scientific and methodological foundations for sustainability of the functioning of mining systems in the context of introducing a new technological paradigm. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [News of Tula State University. Earth Science]. 2020;(4):24-39. (In Russ.)
9. Adams M.D. *Gold ore processing: Project development and operations*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
10. Robertson S.W., Van Staden P.J., Cherkaev A., Pe-

- B. Mineral dust emissions at metalliferous mine sites. Environmental Indicators in Metal Mining. Switzerland: Springer Int. Publish., 2017, pp. 281-306.
24. Kuznetsov V.S. Assessment of the influence of waste rock dumps on the state of atmospheric air during open pit mining of iron ore deposits located in the Northern regions. *Zapiski gornogo instituta* [Journal of the Mining Institute]. 2013;203:182-184. (In Russ.)
25. Sekisov G.V., Cheban A.Yu. Low-waste mining technology for structurally complex deposits with mixed-type process flows of ore extraction and processing. *Journal of Mining Science*. 2021;57(6):978-985.

Поступила 19.10.2023; принята к публикации 15.11.2023; опубликована 27.06.2024
Submitted 19/10/2023; revised 15/11/2023; published 27/06/2024

Чебан Антон Юрьевич – ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия. Email: chebanay@mail.ru.

Anton Yu. Cheban – Lead Researcher, Mining Institute of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (MI KhFRC FEB RAS), Khabarovsk, Russia. Email: chebanay@mail.ru.