

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.271
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-2-28-34



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГРОХОТИЛЬНО-ДРОБИЛЬНЫХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ПУНКТОВ

Чебан А.Ю.

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

Аннотация. Актуальность исследования. При ведении открытых горных работ образуется большое количество техногенных отходов, направляемых в породные отвалы, а также штабели некондиционной руды, в которых может содержаться существенная доля металла, извлекаемого из недр. На ряде месторождений цветных и благородных металлов после взрывного рыхления мелкоусковая рудная масса значительно обогащена полезным компонентом, при этом мелкая фракция некондиционных руд также имеет повышенное содержание металла, достаточное для рентабельной переработки с применением кучного выщелачивания. **Цель работы.** Обоснование ресурсосберегающей малоотходной технологии освоения месторождений ценного минерального сырья с выделением продуктивной мелкой фракции из некондиционных руд в процессе их транспортировки комбинированным автомобильно-конвейерным транспортом за счет расширения функциональных возможностей грохотильно-дробильного перегрузочного пункта карьера. **Результаты.** В статье предлагается схема комбинированного транспорта с использованием усовершенствованного грохотильно-дробильного перегрузочного пункта, обеспечивающего выделение продуктивной мелкой фракции в процессе перегрузки рудной массы из автомобильного транспорта в конвейерный, которая собирается в аккумулирующей емкости, а затем перегружается в специальное транспортное средство для перемещения к месту переработки. Рассмотрена возможность использования предлагаемого в статье решения применительно к одному из золоторудных месторождений. **Выводы.** Проведенные исследования показали, что выделение на перегрузочном пункте обогащенной мелкой фракции из некондиционных руд позволит дополнительно направить на кучное выщелачивание рудную массу, содержащую более 8% добываемого из недр металла, и в 1,74 раза снизить потери золота со складируемыми некондиционными рудами. Кроме того, удаление из некондиционных руд мелкой фракции обеспечит уменьшение пыления штабелей и сокращение образования токсичных компонентов при воздействии на штабели атмосферных осадков.

Ключевые слова: рудные месторождения, некондиционные руды, потери металла, обогащенная мелкая фракция, комбинированный карьерный транспорт, грохочение, кучное выщелачивание

© Чебан А.Ю., 2025

Для цитирования

Чебан А.Ю. Повышение эффективности открытых горных работ за счет совершенствования грохотильно-дробильных перегрузочных пунктов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №2. С. 28-34. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-2-28-34>



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

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPEN MINING THROUGH IMPROVING SCREENING AND CRUSHING TRANSFER POINTS

Cheban A.Yu.

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

Abstract. Problem Statement (Relevance). When conducting open-pit mining, a large amount of technogenic waste is generated, which is sent to rock dumps, as well as stacks of substandard ore, which may contain a significant proportion of metal extracted from the subsoil. In a number of deposits of non-ferrous and precious metals, after explosive loosening, the fine-sized ore mass is significantly enriched with a useful component, while the fine fraction of substandard ores also has an increased metal content, sufficient for cost-effective processing using heap leaching. **Objective** is justification of a resource-saving, low-waste technology for the development of deposits of valuable mineral raw materials with the separation of a productive fine fraction from substandard ores during their transportation by combined automobile-conveyor transport by expanding the functionality of the screening and crushing transfer point of the quarry. **Results.** The article proposes a scheme of combined transport using an improved screening-crushing transfer point, which ensures the release of a productive fine fraction in the process of reloading the ore mass from road transport to a conveyor, which is collected in an accumulating tank, and then reloaded into a special vehicle for movement to the processing site. The possibility of using the solution proposed in the article in relation to one of the gold deposits is considered. **Conclusions.** Studies have shown that the separation of an enriched fine fraction from substandard ores at the transfer point will make it possible to additionally send ore mass containing more than 8% of the metal extracted from the subsoil to heap leaching, and to reduce losses of gold from stored substandard ores by 1,74 times. In addition, the removal of fine fractions from substandard ores will reduce the dusting of stacks and reduce the formation of toxic components when stacks are exposed to atmospheric precipitation.

Keywords: ore deposits, substandard ores, metal losses, enriched fine fraction, combined quarry transport, screening, heap leaching

For citation

Cheban A.Yu. Increasing the Efficiency of Open Mining Through Improving Screening and Crushing Transfer Points. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 2, pp. 28-34. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-2-28-34>

Введение

Во всем мире растет добыча и потребление металлов, при этом в отработку вовлекаются руды со все более низким содержанием полезного компонента [1-4], например, среднее содержание золота в рудах одного из крупнейших разрабатываемых в России месторождений Светлинское составляет 0,97 г/т [5].

Согласно данным работы [1] минимальное промышленное содержание в руде меди, никеля, свинца и цинка с 1987 по 2014 годы сократилось соответственно в 1,75, 2,33, 1,83 и 2,00 раза. В исследовании [3] указывается, что в РФ за период с 1991 по 2012 годы среднее содержание золота в доказанных запасах уменьшилось в 1,8 раза. Одновременно происходит рост глубины карьеров, таким образом, перманентное ухудшение горнотехнических и горно-геологических условий отработки месторождений предопределяет ускоренный рост объемов извлекаемых из недр кондиционных и некондиционных руд, минерализованных вмещающих и вскрышных пород. Повысить эффективность горного производства возможно за счет разработки и применения ресурсосберегающих и малоотходных технологий, направленных на повышение извлечения полезного компонента

с вовлечением в переработку части некондиционных руд, а также уменьшение загрязнения окружающей среды [6-11].

Состояние вопроса и постановка проблемы

Освоение месторождений полезных ископаемых открытым способом имеет ряд преимуществ перед подземной разработкой, в том числе способностью извлекать из недр большие объемы рудной массы за счет применения высокопроизводительного выемочно-погрузочного и транспортного оборудования. Существенным недостатком открытой разработки является образование огромного количества техногенных отходов, складируемых на поверхности в отвалах пустых пород и штабелях некондиционных руд. При разработке рудных месторождений в ряде случаев объем техногенных отходов в 5–10 раз превышает объем кондиционной рудной массы [12, 13], в частности, на карьере Светлинский из 22,2 млн м³ извлекаемой горной массы техногенные отходы (вскрышные и минерализованные вмещающие породы) составляют 17,8 млн м³, а на карьере Курасан из 12,0 млн м³ – 10,8 млн м³ [5].

В процессе развития открытых горных работ, углубления карьера и увеличения дальности транспортировки стоимость перемещения вынутой из недр горной массы автотранспортом непрерывно возрастает [14], в связи с чем на определенном этапе на карьере целесообразно внедрение комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта, который позволяет на 30–40% снизить себестоимость транспортировки и в 1,4–2,0 раза увеличить производительность труда [15–17]. С применением автомобильно-конвейерного транспорта перемещаются как вскрышные породы, так и руда, например, на карьере Мурунтау (Узбекистан) в дополнение к породному потоку конвейерная линия используется для транспортирования из карьера и складирования в отдельном ярусе конвейерного отвала забалансовой руды, одновременно на внутрикарьерных промежуточных складах было организовано накапливание руды с последующей «залповой» ее отгрузкой в поточный комплекс, доля комбинированного транспорта в общем грузопотоке карьера составляет по разным годам 50–65%, а в общем грузопотоке вскрыши – 70–85% [18].

Забалансовые (некондиционные) руды, складируемые в специальных штабелях, при больших объемах содержат в себе существенную часть металла месторождений. Внедрение в горное производство технологии кучного выщелачивания позволило направить на переработку часть ранее некондиционного сырья, в частности, на золоторудных месторождениях на кучное выщелачивание направляются бедные и некондиционные руды с содержанием золота 0,5–2,0 г/т [19, 20].

На ряде месторождений цветных и благородных металлов после взрывного или механического рыхления при ведении добывающих работ мелкокусковая рудная масса значительно обогащена полезным компонентом, в сравнении с более крупными кусками руды, в связи с чем выделенная рудная мелочь имеет содержание металла в 2–3 раза выше, чем исходная рудная масса [21–24]. В частности, исследование показало, что на золоторудном месторождении Сухой Лог в некондиционной руде классы крупности -5+0 и -10+5 мм имеют содержание металла 2,14 и 1,28 г/т при среднем содержании золота в рудной массе 0,73 г/т [22]. Следовательно, в некондиционной руде находится продуктивная мелкая фракция с содержанием полезного компонента, достаточным для ее рентабельной переработки с применением различных способов.

Известен ряд технологических решений по выделению продуктивной мелкой фракции из некондиционной рудной массы, в частности с применением грохотильных установок или переэкскавации штабелей, что требует дополнительных затрат на перевалку и транспортировку руды [25, 26]. В работе [27] предлагается конструкция ковша карьерного экскаватора, позволяющая вести отделение продуктивной мелкой фракции в процессе погрузки транспортных средств.

Технология [21] при разработке нагорных карьеров предполагает выделение мелкой фракции на рудоскате специальной конструкции. Недостатком оборудования, предлагаемого в работах [21, 27], является относительно невысокая эффективность просеивания рудной мелочи. В исследовании [24] обосновывается технологическая схема по отделению мелкой продуктивной фракции посредством усовершенствованного отвалообразователя при формировании штабеля некондиционного минерального сырья, недостатком схемы является полностью автомобильная доставка горной массы к месту складирования, что может быть экономически нецелесообразно при освоении крупных месторождений.

Целью исследования является разработка ресурсосберегающей малоотходной технологии освоения месторождений ценного минерального сырья с выделением обогащенной рудной мелочи из некондиционных руд в процессе их транспортировки комбинированным автомобильно-конвейерным транспортом за счет расширения функциональных возможностей грохотильно-дробильного перегрузочного пункта карьера.

Результаты исследования

При организации автомобильно-конвейерного транспорта для перемещения взорванной горной массы в карьере создается дробильно-перегрузочный пункт, который обеспечивает дробление негабаритных включений и крупных кусков до кондиционных размеров (-300–400 мм), необходимых для перемещения груза конвейерной лентой. Необходимо отметить, что направление в дробилку всего объема перемещаемой горной массы, включающей преимущественно куски кондиционной крупности, предопределяет снижение пропускной способности перегрузочных пунктов и перерасход энергии на дробление. Использование предварительного грохочения перед поступлением рудной массы в дробилку существенно повышает производительность перегрузочного пункта, при этом из горной массы выделяются транспортабельные фракции, а на додрабливание поступают только крупные куски [28].

Автором предлагается схема комбинированного транспорта с использованием усовершенствованного грохотильно-дробильного перегрузочного пункта, обеспечивающего выделение продуктивной мелкой фракции в процессе перегрузки рудной массы из автомобильного транспорта в конвейерный. Усовершенствованный грохотильно-дробильный перегрузочный пункт включает колосниковый грохот 1, приемный бункер 2, дробилку 3, накопительный бункер 4, пластинчатый питатель 5, вибрационный грохот 6 с набором просеивающих поверхностей 7–8, емкость 9 для аккумулирования мелкой продуктивной фракции, размещенная на опорной раме 10, прикрепленной к подпорной стенке 11 (рис. 1).

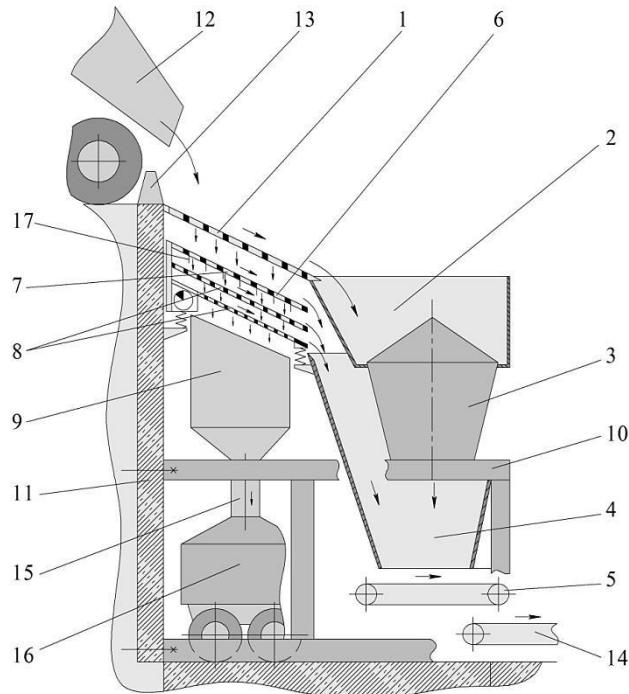


Рис. 1. Схема усовершенствованного грохотильно-дробильного перегрузочного пункта при работе с некондиционной рудной массой
Fig. 1. Scheme of an improved screening and crushing transfer point when working with substandard ore mass

При осуществлении перегрузки автосамосвал 12 задним ходом подъезжает до контакта задних колес с упором 13 и выгружает некондиционную рудную массу на колосниковый грохот 1. Крупнокусковая рудная масса направляется в приемный бункер 2 и далее в дробилку 3, а оставшаяся рудная масса, состоящая из транспортабельных для ленточного конвейера 14 фракций, подается на вибрационный грохот 6. Наличие нескольких просеивающих поверхностей 7-8 позволяет обеспечить более высокую эффективность грохочения при выделении мелкой фракции, минимизируя потери продуктивной рудной мелочи вместе с потоками надрешетных фракций, ссыпающихся в накопительный бункер 4. Также в накопительный бункер 4 подается продукт, полученный после дробления крупнокусковой горной массы. Пластинчатый питатель 5 подает некондиционную рудную массу на ленточный конвейер 14, который транспортирует ее к месту штабелирования. Продуктивная мелкая фракция в виде подрешетного продукта вибрационного грохота 6 аккумулируется в емкости 9, откуда по лотку 15 разгружается в специальное транспортное средство 16 и направляется к месту переработки – на кучное выщелачивание совместно с бедной рудой.

При работе перегрузочного пункта с пустыми породами вибрационный грохот 6 выключен, а отверстия (щели) верхней просеивающей поверхности 7

перекрываются поворотными заслонками 17, в результате чего выделение мелкой фракции не производится и весь объем транспортабельных для ленточного конвейера 14 фракций напрямую подается в накопительный бункер 4.

Практическое применение

Предлагаемое технико-технологическое решение может быть использовано для организации комбинированной схемы транспорта при разработке месторождений цветных и благородных металлов, некондиционная рудная масса которых характеризуется наличием продуктивной мелкой фракции. Автором рассмотрено одно из дальневосточных золоторудных месторождений, отрабатываемое открытым способом, в настоящее время глубина карьера превысила 140 м, а извлекаемые объемы горной массы достаточны для организации циклическо-поточной схемы транспортирования. Параметры извлекаемых из карьера руд представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры извлекаемых из карьера руд и пустых пород
Table 1. Parameters of ores and waste rocks extracted from the quarry

Руда и пустые породы	Доля горной массы, %	Содержание металла, г/т	Среднее содержание металла, г/т	Доля металла в руде, %
Кондиционная руда	11,8	более 0,7	2,31	80,9
Некондиционная руда	14,0	0,3–0,7	0,46	19,1
Вскрышные и вмещающие породы	74,2	–	–	–
ИТОГО	100,0	–	–	100,0

Таким образом, на склад некондиционной руды попадает более 19% металла, содержащегося в добываемой руде.

Проведенные с участием автора экспериментальные исследования по определению содержания золота в пробе взорванной некондиционной руды забойной крупности рассматриваемого золоторудного месторождения, фракционированной по классам, показали значительную вариативность содержания металла, при этом мелкие классы (-15+10, -10+5 и -5+0 мм) существенно обогащены полезным компонентом, а крупные куски руды имеют содержание металла ниже среднего (рис. 2).

С учетом результатов эксперимента мелкую фракцию -15 мм некондиционной рудной массы, обогащенную полезным компонентом, можно отнести к продуктивной. В табл. 2 приведены результаты расчетов основных параметров мелкой и крупной фракций, соответственно обогащенной и обедненной полезным компонентом.



Рис. 2. Содержание золота во взорванной некондиционной руде по классам крупности

Fig. 2. Gold content in blasted substandard ore by grain-size class

Таблица 2. Основные параметры мелкой и крупной фракций

Table 2. Basic parameters of fine and coarse fractions

Фракция	Крупность, мм	Доля фракции, %	Содержание золота, г/т	Доля золота, %
Крупная (некондиционная)	+15	76,8	0,32	52,0
Мелкая (продуктивная)	-15	23,2	0,99	48,0
ИТОГО		100,0	0,48	100,0

Поскольку при содержании металла в пробе некондиционной рудной массы 0,48 г/т, продуктивная фракция -15 мм содержит 0,99 г/т, то при среднем содержании золота в некондиционной рудной массе 0,46 г/т (см. табл. 1) пропорционально можно принять содержание в продуктивной фракции -15 мм порядка 0,95 г/т. Содержание металла 0,95 г/т достаточно для рентабельной переработки рудной массы с применением метода кучного выщелачивания, при этом полученное сырье не требует дополнительного дробления.

Доля металла, находящегося в выделяемой из некондиционной рудной массы рассматриваемого месторождения посредством грохочения продуктивной мелкой фракции (подрешетного продукта), может быть определена по формуле

$$M_M = M_{HP} K_M E \cdot 10^{-4}, \quad (1)$$

где $M_{HP} = 19,1\%$ – доля металла, содержащегося в некондиционной рудной массе (см. табл. 1); K_M – относительная доля металла, содержащегося в продуктивной мелкой фракции некондиционной рудной массы (см. табл. 2); $E = 0,88$ – эффективность грохочения, определена согласно рекомендациям [29].

Расчет показывает, что выделение из некондиционной руды продуктивной мелкой фракции позволит дополнительно направить на переработку рудную массу, содержащую 8,1% всего извлекаемого из недр металла, таким образом, потери металла со складируемыми некондиционными рудами снижаются в 1,74

раза с 19,1 до 11,0%. Продуктивная мелкая фракция со средним содержанием золота 0,95 г/т после окомкования тонких классов (-3+0 мм) перерабатывается с применением кучного выщелачивания в отдельном штабеле или совместно с дробленой кондиционной рудой с содержанием 0,7–2 г/т. Кондиционная руда с содержанием металла более 2 г/т направляется для переработки на фабрику.

Выводы

При ведении открытых горных работ образуется большое количество техногенных отходов, направляемых в отвалы вскрышных и минерализованных пород, а также штабели некондиционной руды, в которых может содержаться существенная доля металла, извлекаемого из недр. На многих месторождениях цветных и благородных металлов для взорванной рудной массы характерно наличие повышенного содержания полезного компонента в мелкой фракции. Проведенные с участием автора исследования некондиционной руды одного из дальневосточных месторождений показали, что содержание золота в продуктивной мелкой фракции в 2,06 раза превышает среднее содержание металла в пробе.

Предложенная в статье конструкция усовершенствованного грохотильно-дробильного перегрузочного пункта, оснащенного вспомогательным оборудованием в виде виброгрохота, позволяет выделять из некондиционной рудной массы обогащенную полезным компонентом продуктивную мелкую фракцию, что даст возможность в процессе освоения рассматриваемого месторождения дополнительно направить на переработку с применением кучного выщелачивания рудную массу, содержащую более 8% добываемого из недр металла. Удаление из складируемых некондиционных руд основной части рудной мелочи позволит существенно снизить потери золота с техногенными отходами, а также уменьшить нагрузку на окружающую среду, связанную с пылением штабелей некондиционной руды и образованием токсичных компонентов при воздействии на данные штабели атмосферных осадков.

Список источников

1. Оганесян Л.В., Мирлин Е.Г. Проблема исчерпания минерально-сырьевых ресурсов земной коры // Горная промышленность. 2019. №6. С. 100-105.
2. Adams M. D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016. 980 p.
3. Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования / Б.К. Михайлов, Г.В. Седельникова, Б.И. Беневольский, А.И. Романчук // Руды и металлы. 2014. №1. С. 5-8.
4. Espinoza R.D., Rojo J. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector // Resources Policy. 2017, vol. 52, pp. 7-18.
5. Струков К.И., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития «Южуралзолото» Группа компаний» в

- условиях проявления глобальных вызовов // Горная промышленность. 2021. №1. С. 54–60.
6. 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.
 7. Научное обоснование технологий комплексного ресурсосберегающего освоения месторождений стратегического минерального сырья / К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, С.Д. Викторов, М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №12. С. 5-12.
 8. 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.
 9. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
 10. 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.
 11. Wu J., Ahn J., Lee J. Comparative leaching study on conichalcite and chalcopyrite under different leaching systems // Korean Journal of Metals and Materials. 2019, vol. 57, no. 4, pp. 245-250.
 12. Снитка Н.П., Наимова Р.Ш. Направления комплексного использования техногенных ресурсов при открытой разработке месторождения Мурунтау // Горный журнал. 2018. №9. С. 57-61.
 13. 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.
 14. Маринин М.А., Маринина О.А., Раҳманов Р.А. Методический подход к оценке влияния гранулометрического состава взорванной горной массы на стоимость транспортных работ // Горный журнал. 2023. №9. С. 28-34.
 15. Совершенствование логистической схемы Светлинского рудника при переходе на циклическую технологию / А.Г. Шадрунов, С.А. Саблев, И.А. Пыталев, О.В. Фридрихсон // Известия Тульского государственного университета. Науки и Земле. 2020. №4. С. 535-547.
 16. Lucio J.C., Senra C.T., Souza A. Paving the future – A case study replacing truck-and-shovels by shovel-and-conveyor continuous mining at Carajas open pit mines // IronOre 2009 Conference. Perth, WA. July 27-29, pp. 269-276.
 17. Minkin A., Wolpers F.M., Hellmuth T. Overcoming a mines embankment: IPCG system with new belt conveying concept for steep opencast minewalls // Bulk Solids Handling. 2019, vol. 37, no. 2, pp. 18-23.
 18. Мальгин О.Н., Кустов А.М., Коломников С.С. Развитие циклической технологии в транспортной системе карьера «Мурунтау» // Горный журнал. 2007. №5. С. 33-37.
 19. Исмаилов Т.Т., Голик В.И., Дольников Е.Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2006. 331 с.
 20. 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.
 21. А.с. 1120104 СССР. Способ формирования качества руд при добыче и рудоскат для его осуществления / В.А. Шестаков, В.А. Хакулов, Г.А. Семочкин. Опубл. 23.10.1984. Бюл. № 39.
 22. Переработка руд с использованием современной технологии крупнокусковой фотометрической сепарации / И.В. Чепрасов, А.И. Романчук, А.А. Твердов, С.Б. Никишичев, И.А. Иванов // Золото и технологии. 2014. №1. С. 62-66.
 23. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Бобохонов Б.А. Полупромышленные испытания отвального выщелачивания забалансовой руды месторождения Джилай // Золото и технологии. 2013. №3. С. 54-57.
 24. 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.
 25. Наимова Р.Ш. Перспективы использования вскрышных пород карьера Мурунтау в качестве резервного сырьевого источника // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №3. С. 117-122.
 26. Кантемиров В.Д., Титов Р.С. Оптимизация параметров карьерных грохотильно-перегрузочных пунктов // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. №3. С. 107-114.
 27. Чебан А.Ю. Способ выемки взорванной горной массы экскаватором при разработке сложноструктурных месторождений // Маркшейдерский вестник. 2020. №2. С. 66-70.
 28. Лашко В.Т. Перегрузочные пункты при автомобильно-конвейерном транспорте на рудных карьерах. Днепропетровск: Полиграфист, 2001. 140 с.
 29. Егоров П.В., Бобер Е.А., Кузнецов Ю.Н. Основы горного дела. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2006. 408 с.

References

1. Oganesian L.V., Mirlin E.G. Issues of resource depletion in earth crust. *Gornaya promyshlennost* [Mining industry], 2019;(6):100-105. (In Russ.)
2. Adams M. D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
3. Mikhailov B.K., Sedelnikova G.V., Benevol'sky 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.)
4. Espinoza R.D., Rojo J. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector. *Resources Policy*. 2017;52:7-18.
5. Strukov K.I., Rylnikova M.V. Issues and prospects for the development of Uzhuralzoloto group of companies in conditions of global challenges. *Gornaya promyshlennost* [Mining industry], 2021;(1):54-60. (In Russ.)
6. 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.

7. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Viktorov S.D., Rylnikova M.V., Radchenko D.N. Scientific rationale of technologies for comprehensive resource-saving exploitation of strategic mineral resources. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2014;(12):5-12. (In Russ.)
8. 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;57(6):978-985.
9. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
10. 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.
11. Wu J., Ahn J., Lee J. Comparative leaching study on conichalcite and chalcopyrite under different leaching systems. *Korean Journal of Metals and Materials*. 2019;57(4):245-250.
12. Snitka N.P., Naimova R.Sh. Directions for the integrated use of technogenic resources during open-pit mining of the Muruntau deposit. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2018;(9):57-61. (In Russ.)
13. Zhang Z.X., Hou D.F., Aladejare A., Ozoji T., Qiao Y. World mineral loss and possibility to increase ore recovery ratio in mining production. *International Journal Of Mining Reclamation And Environment*. 2021;35(9):670-691.
14. Marinin M.A., Marinina O.A., Rakhmanov R.A. Methodological approach to assessing influence of blasted rock fragmentation on mining costs. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2023;(9):28-34. (In Russ.)
15. Shadrinov A.G., Sablev S.A., Pytalev I.A., Friedrichson O.V. Improvement of the Svetlinsky gold deposit logistics scheme with transition to cycle-flow technology. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [Izvestiya Tula State University Earth Science Series], 2020;(4):535-547. (In Russ.)
16. Lucio J.C., Senra C.T., Souza A. Paving the future – A case study replacing truck-and-shovels by shovel-and-conveyor continuous mining at Carajas open pit mines // IronOre 2009 Conference. Perth, WA. July 27-29, pp. 269-276.
17. Minkin A., Wolpers F.M., Hellmuth T. Overcoming a mines embankment: IPCG system with new belt conveying concept for steep opencast minewalls. *Bulk Solids Handling*. 2019;37(2):18-23.
18. Malgin O.N., Kustov A.M., Kolomnikov S.S. Development of the cyclic and continuous flow technology in transportation system of muruntau quarry. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2007;(5):33-37. (In Russ.)
19. Ismailov T.T., Golik V.I., Dolnikov E.B. *Spetsialnye sposoby razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Special methods for developing mineral deposits]. Moscow: Moscow State Mining University, 2006, 331 p. (In Russ.)
20. 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.
21. Shestakov V.A., Khakulov V.A., Semochkin G.A. Method for forming the quality of ores during mining and ore roll for its implementation. Author's certificate USSR, no. 1120104, 1984.
22. Cheprasov I.V., Romanchuk A.I., Tverdov A.A., Nikishichev S.B., Ivanov I.A. Processing of ores using modern technology of large-piece photometric separation. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and technology], 2014;(1):62-66. (In Russ.)
23. Samikhov Sh.R., Zinchenko Z.A., Bobokhonov B.A. Semi-industrial testing of dump leaching of off-balance ore from the Jilau deposit. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and technology], 2013;(3):54-57. (In Russ.)
24. Cheban A.Yu. Resource-saving technology for dump formation using a modernized spreader. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Bulletin of Magnitogorsk State Technical University G.I. Nosov], 2024;22(2):14-21. (In Russ.)
25. Naimova R.Sh. Prospects for the use of overburden rocks from the Muruntau quarry as a reserve source of raw materials. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2011;(3):117-122. (In Russ.)
26. Kantemirov V.D., Titov R.S. Optimization of parameters of open-pit screening and dumping stations. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], 2020;(3):107-114. (In Russ.)
27. Cheban A.Yu. Method for excavation of the exploded rock mass when developing complex deposits. *Marksheiderskiy vestnik* [Mine Surveyor Bulletin], 2020;(2):66-70. (In Russ.)
28. Lashko V.T. *Peregruzochnye punkty pri avtomobilno-konveyernom transporte na rudnyh karerah* [Transshipment points for automobile-conveyor transport in ore mines]. Dnepropetrovsk: Polygraphist, 2001, 140 p. (In Russ.)
29. Egorov P.V., Bober E.A., Kuznetsov Yu.N. *Osnovy gornogo dela* [Fundamentals of Mining]. Moscow: Moscow State Mining University, 2006, 408 p. (In Russ.)

Поступила 10.07.2024; принята к публикации 09.09.2024; опубликована 30.06.2025
Submitted 10/07/2024; revised 09/09/2024; published 30/06/2025

Чебан Антон Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, 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. ORCID 0000-0003-2707-626X

Anton Yu. Cheban – PhD (Eng.), Associate Professor, Leading 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. ORCID 0000-0003-2707-626X