



КАРЬЕРНЫЙ ЭКСКАВАТОР С РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБОГАЩЕННОЙ РУДНОЙ МЕЛОЧИ

Чебан А.Ю., Секисов А.Г.

Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Аннотация. Актуальность и цель исследования. Усложняющиеся условия разработки месторождений твердых полезных ископаемых предопределяют необходимость совершенствования горного оборудования и технологических схем его применения. При разработке сложноструктурных месторождений в некоторых случаях вместе с некондиционными рудами в отвал отправляется значительное количество минерального сырья, содержащегося в отрабатываемом блоке. Во многих рудах в процессе взрывного или механического рыхления происходит концентрация полезных компонентов в рудной мелочи, особенно это характерно для руд с вкрапленной сульфидной минерализацией, ассоциирующей с кварцем. Выделение из некондиционных руд мелкой фракции на грохоте, а также дополнительные транспортно-перегрузочные операции требуют значительных затрат.

Цель работы. Создание карьерного экскаватора с рабочим оборудованием для отделения обогащенной рудной мелочи из некондиционной руды непосредственно в процессе выемки, при этом процесс разгрузки из ковша обогащенной рудной мелочи и оставшейся некондиционной руды для увеличения производительности оборудования должен производиться одновременно. **Результаты.** В статье предлагается конструкция усовершенствованного карьерного экскаватора и технологическая схема его применения при разработке сложноструктурного месторождения. Гидравлический карьерный экскаватор оснащен ковшом с просеивающими поверхностями, которые расположены внутри ковша на его передней стенке и открывающимся днище. Между ребрами жесткости просеивающих поверхностей находятся полости, которые соединяются со сборными коллекторами. Рудная мелочь через щели просеивающих поверхностей ссыпается в полости, а затем в коллекторы, откуда потоком воздуха транспортируется по трубопроводам к предварительному сепаратору вакуумной установки, где происходит ее накапливание с периодической разгрузкой в специальное транспортное средство. Разгрузка некондиционной руды, оставшейся в ковше, производится в автосамосвалы. **Выводы.** Применение ковша предлагаемой конструкции с неподвижными просеивающими поверхностями позволит сократить время цикла экскаватора за счет совмещения процессов разгрузки рудной мелочи и крупной фракции, данный ковш может быть установлен на большинстве карьерных гидравлических экскаваторов после их минимальной модернизации. Выделение обогащенной рудной мелочи зоны некондиционных руд взорванного блока позволит увеличить коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр и повысить производительность карьера по добыче руды, что снизит удельные расходы на добчу минерального сырья и увеличит рентабельность горного производства.

Ключевые слова: сложноструктурные месторождения, некондиционная руда, карьерный экскаватор, ковш, просеивающие поверхности, вакуумная установка, автосамосвал.

© Чебан А.Ю., Секисов А.Г., 2020

Для цитирования

Чебан 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. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-16-22>



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

MINING EXCAVATOR WITH THE CAPABILITY TO SEPARATE CONCENTRATED ORE FINES

Anton Yu. Cheban, Artur G. Sekisov

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

Abstract. Relevance and purpose of the study. The increasingly complicated conditions in which solid mineral deposits are developed define the need to optimize mining equipment and the ways in which it is exploited. When developing complex structure deposits, it sometimes happens that a significant amount of mineral raw materials is dumped together with substandard ores. In the case of many ores, the process of explosive or mechanical loosening results in the concentration of valuable components in ore fines. This is especially typical of ores with sulphide impregnation associated with quartz. Screening substandard ores to separate fines, as well as additional transportation and transfer operations require significant costs. **Objectives.** The objective is to design a mining excavator that would have the capability to separate concentrated ore fines from substandard ore directly during excavation. At the same time, unloading of concentrated ore fines and the remaining substandard ore should take place simultaneously for better performance. **Findings.** This paper describes an optimised excavator design, as well as application guidelines for the development of complex structure deposits. The hydraulic mining excavator is equipped with a bucket with screening surfaces located inside the bucket on its front wall and on the drop bottom. There are cavities between the screen stiffeners that are connected to collectors. The fine material goes through the openings in the screening surfaces into the cavities and then into the collectors. From the collectors it is transported with air flow through pipelines to the preliminary separator of the vacuum unit, where it accumulates and is regularly discharged into a special vehicle. The substandard ore remaining in the bucket is dumped into dump trucks. **Conclusions.** The use of the bucket of the proposed design with fixed screening surfaces will reduce the excavator cycle time due to combined unloading of ore fines and coarser material. Such bucket can be installed on most hydraulic excavators following minimum retrofitting. Separation of concentrated ore fines from the substandard ore zone of the blasted block will increase the recovery factor and the throughput, which will reduce the mining costs and make the operations more cost-effective.

Keywords: complex structure deposits, substandard ore, mining excavator, bucket, screening surfaces, vacuum unit, dump truck.

For citation

Cheban A.Yu., Sekisov A.G. 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, vol. 18, no. 1, pp. 16–22. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-16-22>

Введение

В отечественной и мировой практике разработки твердых полезных ископаемых прослеживаются тенденции усложнения условий добычи, ухудшения качества минерального сырья, истощения крупных по запасам месторождений, постепенного смещения горного производства в удаленные районы с суровыми природно-климатическими условиями [1–3]. Значительно изменившиеся условия разработки месторождений твердых полезных ископаемых при возрастающих требований по экологической и промышленной безопасности работ предопределяют необходимость совершенствования как горного оборудования, так и технологических схем его применения для сохранения приемлемого уровня рентабельности горного производства [4–9]. Развитие горных технологий и технических средств позволяет осуществлять добычу полезных ископаемых как открытым, так и подземным способами на все больших глубинах [10–14], при этом доля открытого способа в общем объеме добычи постепенно возрастает. В настоящее время в основе ряда научных исследований закладываются принципы малоотходности и ресурсосбережения, для чего целенаправленно предлагаются новые технологические схемы ведения горных работ. При этом основное внимание должно быть обращено на возможности уменьшения объемов или энергоемкости горных работ, обеспечение экономии природных ресурсов и сокращение количества получаемых отходов [15–16].

На сложноструктурных месторождениях во многих случаях происходит не только чередование руды и пустых пород, но также изменение качественных характеристик самой руды в массиве. При этом содержание полезных компонентов от зон с максимальными значениями к неминерализованным породам понижается в основ-

Постановка проблемы

На сложноструктурных месторождениях во многих случаях происходит не только чередование руды и пустых пород, но также изменение качественных характеристик самой руды в массиве. При этом содержание полезных компонентов от зон с максимальными значениями к неминерализованным породам понижается в основ-

ном постепенно, без какой-либо закономерности с отсутствием четких визуально наблюдаемых границ между рудами различных типов и сортов, а также пустыми породами. В зависимости от содержания полезного компонента руды могут быть кондиционными и некондиционными. При разработке сложноструктурных месторождений ведется селективная выемка горной массы, при этом пустые породы транспортируются в отвал, кондиционная руда отправляется на первичную переработку и последующее обогащение, а некондиционная руда – на склад временно некондиционных руд, а по существу в отвал. При этом во многих случаях вместе с некондиционными рудами в отвал отправляется значительное количество минерального сырья, содержащегося в отрабатываемом блоке.

Необходимо отметить, что у многих руд в процессе взрывного или механического рыхления происходит концентрация полезных компонентов в рудной мелочи [2, 17], особенно это характерно для руд с вкрапленной сульфидной минерализацией, ассоциирующей с кварцем. Таким образом, в мелких и тонких фракциях некондиционных руд содержание полезного компонента значительно превосходит среднее содержание полезного компонента, что дает возможность рентабельно перерабатывать данное минеральное сырье наряду с кондиционными рудами. При этом выделенную при выемке или грохочении мелкую продуктивную фракцию наиболее целесообразно перерабатывать отдельно от кондиционной руды кучным или кюветным выщелачиванием [18]. Однако специальное выделение рудной мелочи из некондиционных руд на грохоте, а также дополнительные транспортно-перегрузочные операции требуют значительных затрат.

Возможным решением проблемы представляется выделение обогащенной рудной мелочи непосредственно процессе выемки некондиционной руды для исключения ее последующей сортировки и перевалок. В горном деле при массовом рыхлении массивов прочных горных пород применяется взрыв с последующей выемкой горной массы различного качества одноковшовыми экскаваторами. При разработке сложноструктурных месторождений в выемочном блоке выявляются участки пустых пород, а также кондиционных и некондиционных руд. В настоящее время разработаны автоматизированные системы управления процессом селективной выемки руды, обеспечивающие высокоточное позиционирование экскаватора в забое, необходимую траекторию движения ковша относительно зон

локализации различных типов горной массы, а также возможность идентификации качества горной массы в ковше [19]. Очевидно, что отделение рудной мелочи целесообразно вести во время перемещения горной массы в ковше от забоя к кузову транспортного средства.

Известна конструкция ковша с просеивающим приспособлением, предназначенного для фракционного разделения экскавируемого материала [20]. Ковш включает две боковые стенки, криволинейную стенку с режущей кромкой, просеивающее приспособление в виде решетчатой конструкции, шарнирно соединенное с верхней частью ковша, и пару гидроцилиндров для поворота просеивающего приспособления. При черпании материала просеивающее приспособление находится внутри ковша и прижимается к нему. После заполнения ковш перемещается к месту разгрузки, гидроцилиндры поворачивают просеивающее приспособление, в результате чего оно выдвигается наружу от ковша, чтобы обеспечить свободное прохождение мелкой фракции материала через отверстия просеивающего приспособления. После завершения просеивания оставшаяся в ковше крупная фракция выгружается в другое место разгрузки, таким образом, ковш обеспечивает немедленную сортировку набранного материала. Недостатками данной конструкции являются: раздельная разгрузка мелкой и крупной фракций из ковша, что увеличивает время цикла экскаватора; необходимость наличия в забое двух транспортных средств; потеря обогащенной мелкой фракции от выдувания при погрузке и транспортировке; пыление в зоне ведения погрузочных работ.

Для выделения мелких фракций горной массы и уменьшения пыления при выемке и погрузке горной массы разработана конструкция выемочно-сортировочного комплекса, оборудованного транспортно-сортировочным агрегатом [21]. Выемочно-сортировочный комплекс осуществляет послойную отработку массива фрезерным рабочим органом. Транспортно-сортировочный агрегат состоит из скребкового конвейера и сортировочной решетки, сквозь которую просеивается мелкая фракция угля, направляемая системой пневмотранспортирования из накопителя в бункер специального транспортного средства. Крупная фракция разгружочным конвейером комплекса направляется в автосамосвал. Недостатками выемочно-сортировочного комплекса данной конструкции являются: низкая эффективность или невозможность разработки массивов, сложенных прочными породами; трудность высокоселективной выемки

рудных тел сложной конфигурации.

Для зачистки рудной мелочи из трещин и нервностей поверхностей горных выработок после проведения взрывных и выемочных работ на рудниках России и за рубежом применяют вакуумную технологию. Так, на руднике Ирокинда ведется разработка гидротермальных убого-сульфидных золотосодержащих наклонных малоносичных кварцевых жил, при этом зачистка рудной мелочи осуществляется вакуумными установками производства ЮАР Trans Vac SA55 E54 и Mega Vac SA55E54 [22]. Данные установки позволяют засасывать и транспортировать куски руды размером до 50 мм. Рудная мелочь всасывается через форсунку и транспортируется по гибкому трубопроводу (на расстояние до 200–300 м по горизонтали и 50–100 м по вертикали) к предварительному сепаратору, где происходит отделение рудной мелочи от транспортирующего ее воздуха. По мере заполнения бункера предварительного сепаратора происходит его автоматическая разгрузка в вагон. Оставшаяся неотделенной в предварительном сепараторе рудная пыль отделяется в коллекторе тонкой очистки. Применение вакуумной установки на руднике Ирокинда позволило на 4% повысить коэффициент извлечения полезных ископаемых из недр, срок окупаемости установок составил 4 месяца.

Целью работы является создание карьерного экскаватора с рабочим оборудованием для отделения обогащенной рудной мелочи из некондиционной руды непосредственно в процессе выемки. При этом процесс разгрузки из ковша обогащенной рудной мелочи и оставшейся некондиционной руды для увеличения производительности оборудования должен производиться одновременно.

Результаты исследований и их обсуждение

Авторами предлагается конструкция карьерного экскаватора с рабочим оборудованием для отделения во время выемочно-погрузочного процесса обогащенной полезным компонентом рудной мелочи и технологическая схема его применения. В качестве базовой машины целесообразно использование гидравлического экскаватора, так как рабочее оборудование данной машины обладает более широкими возможностями для селективной выемки пород взорванного сложноструктурного массива, в сравнении с канатными экскаваторами, за счет обеспечения необходимой траектории движения ковша. Гид-

равлический карьерный экскаватор 1 с оборудованием «прямая лопата» оснащен ковшом 2 с просеивающими поверхностями 3, 4 со щелями 5, которые расположены внутри ковша 2 на его передней стенке 6 и открывающимся днище 7 (см. рисунок).

Просеивающие поверхности 3, 4 на тыльной стороне оборудованы ребрами жесткости 8 и неподвижно присоединены к элементам ковша 2. Между ребрами жесткости 8 просеивающих поверхности 3, 4 находятся полости 9, которые соединяются с соответствующими коллекторами 10, 11 передней стенки 6 и открывающегося днища 7 ковша 2. Коллекторы 10, 11 через трубопроводы 12, 13, установленные соответственно в боковой стенке 6 и днище 7 ковша 2, соединены с гибким трубопроводом 14 вакуумной установки 15, протянутым через рукоять 16, стрелу 17 и опорно-поворотное устройство 18. Также ковш 2 оборудован вибратором 19 для активизации процесса выделения рудной мелочи из горной массы.

В процессе выемки горной массы из взорванного блока карьерным экскаватором 1 рудная мелочь, попавшая в ковш 2, посредством силы тяжести и дополнительного вибрационного воздействия через щели 5 просеивающих поверхностей 3, 4 передней стенки 6 и поворотного днища 7 ковша 2сыпается в полости 9. Заполненный горной массой ковш 2 поворачивается к автосамосвалу, днище 7 открывается и производится разгрузка ковша 2. Одновременно просевшаяся рудная мелочь, оставшаяся в полостях 9 под действием силы тяжести,сыпается в коллекторы 10, 11, откуда потоком воздуха транспортируется по трубопроводам 12, 13 и гибкому трубопроводу 14 к предварительному сепаратору вакуумной установки 15, где происходит ее накапливание с периодической разгрузкой в специальное транспортное средство. Оставшаяся неотделенной в предварительном сепараторе рудная пыль отделяется в коллекторе тонкой очистки. Вакуумная установка 15 управляетя дистанционно машинистом карьерного экскаватора 1. Перед выемкой кондиционной руды или пустой породы вакуумная установка 15 и вибратор 19 отключаются, и весь объем горной массы из ковша 2 грузится в автосамосвал, получающий соответствующее направление разгрузки.

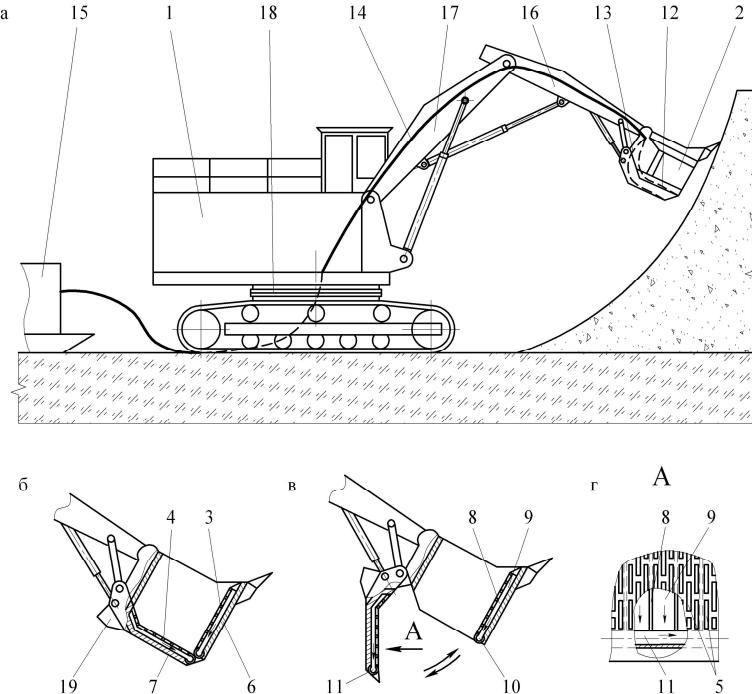


Схема выемки взорванной горной массы с отделением рудной мелочи:
а – карьерный экскаватор с рабочим оборудованием для отделения рудной мелочи;
б, в, г – схема ковша с просеивающими поверхностями

Excavation of rock with simultaneous separation of ore fines: а – Mining excavator with the capability to separate ore fines; б, в, г – Excavator bucket with screening surfaces (a sketch)

Экскаватор предлагаемой конструкции во избежание забивания просеивающих поверхностей ковша целесообразно применять для выемки горных пород взорванных полускальных и скальных массивов невысокой влажности и не содержащих глинистых включений. Предохранение просеивающих поверхностей от засорения в нормальных условиях работы обеспечивает вибрационная нагрузка на ковш экскаватора. Перед проведением взрывного рыхления массива карьерный экскаватор, вакуумная установка с гибким трубопроводом и другое оборудование отводятся из зоны поражения взрывом.

Заключение

Внедрение предлагаемого технико-технологического решения позволит выделять из некондиционной руды обогащенную полезным

компонентом рудную мелочь в объеме 3–4% (от объема некондиционной руды) непосредственно во время выемочно-погрузочного процесса. Для некоторых морфологико-структурных типовруд штокверковых и жильных месторождений золота, вольфрама, молибдена, меди в обогащенной рудной мелочи может быть сосредоточено до 50–60% полезного компонента, содержащегося в некондиционном блоке. Таким образом, выделение обогащенной рудной мелочи зоны некондиционных руд взорванного блока позволит увеличить коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр, повысит производительность карьера по добыче руды, что снижает удельные затраты на добычу минерального сырья и повысит рентабельность горного производства. Кроме того, отделение из некондиционной рудной массы мелкой фракции уменьшит пыление при

погрузке, транспортировке и складировании некондиционной руды, это улучшит экологическую обстановку в зоне ведения горных работ.

Применение ковша предлагаемой конструкции с неподвижными просеивающими поверхностями в сравнении с ковшом с поворотным просеивающим приспособлением позволит сократить время цикла экскаватора за счет совмещения процессов разгрузки рудной мелочи и крупной фракции. Ковш предлагаемой конструкции может быть установлен на большин-

стве карьерных гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием «прямая лопата» после их минимальной модернизации в виде монтажа гибкого трубопровода вакуумной установки. Для всасывания рудной мелочи целесообразно использовать вакуумные установки Trans Vac SA55 E54 и Mega Vac SA55E54, которые могут транспортировать мелкую фракцию на значительные расстояния, в связи с чем не потребуются их частые перестановки вслед за перемещающимся по забою экскаватором.

Список литературы

- Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений / Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталаев И.А. // Горный журнал. 2017. № 11. С.60–64.
- Саматова Л.А., Шепета Е.Д. Комбинированные технологии переработки бедных, забалансовых вольфрамовых руд и отвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № S4. С. 187–199.
- Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных кругопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 3. С. 18–23.
- Трубецкой К.Н. Решение проблем экологически сбалансированного освоения месторождений открытыми геотехнологиями // Горный журнал. 2018. № 6. С. 71–76.
- 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.
- Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. Software & Systems Modeling. 2014, vol. 13, no. 3, pp. 941–962.
- Чебан А.Ю. Чебан А.Ю. Добычный комплекс для открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 3. С. 8–11.
- Starke L. Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development. London: IIED, 2016, 480 p.
- Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // Zement-Kalk-Gips Int. 2014, vol. 67, no. 10, pp. 18–19.
- Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений. М.: Горная книга, 2012. 344 с.
- Гладырь А.В. Система интеграции микросейсмических и геоакустических данных геомеханического контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 6. С. 220–234.
- Чебан А.Ю. Способ дробочки глубокого карьера с применением фрезерных машин // Марк-шнейдерия и недропользование. 2017. № 4. С. 23–29.
- Adams M.D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
- Gladyr A.V., Miroshnikov V.I., Konstantinov A.V. Software and hardware improvement for the streltsov ore field geo-dynamic testing area // e3s web of conferences electronic resource. 2018. P. 02012.
- Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.
- Чебан А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // Записки горного института. 2015. Т. 214. С. 23–27.
- Санакулов К.С., Руднев С.В., Канцель А.В. О возможности отработки месторождения Учкулач с использованием технологии рентгенрадиометрического обогащения свинцово-цинковых руд // Горный вестник Узбекистана. 2011. № 1. С. 17–20.
- Голик В.И. Практика подземного выщелачивания урановых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 5. С. 50–52.
- Технология формирования качества руд Тырныаузского месторождения с использованием предварительной сортировки и обогащения / Хакулов В.А., Крапивский Е.И., Блаев Б.Х., Шаповалов В.А. // Обогащение руд. 2018. № 5. С. 33–39.
- Пат. 2042015 Российской Федерации, МПК E02F3/40. Ковш с просеивающим приспособлением / К. Модиг; заявитель и патентообладатель К. Модиг. № 5053166/03; заявл. 04.09.1992; опубл. 20.08.1995.
- Чебан А.Ю. Селективная разработка Эльтгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 4. С. 247–254.
- Павлов А.М., Семенов Ю.М. Применение вакуумной технологии при зачистке руды в условиях криолитозоны рудника «Йрокинда» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 11. С. 24–29.

Поступила 01.10.2019; принята к публикации 14.11.2019; опубликована 25.03.2020

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

Секисов Артур Геннадиевич – главный научный сотрудник, Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия. E-mail: sekisovag@mail.ru

References

1. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V., Vladimirov D.Ya., Pytalev I.A. Introduction of robotic geotechnologies in open pit mining: Provisions and prospects. *Gorny Zhurnal* [Mining Journal], 2017, no. 11, pp. 60–64. (In Russ.)
2. Samatova L.A., Shepetko E.D. Combined processing of lean and waste tungsten ores. *Gorny informatsionno-analitichesky byulleten* [Mining bulletin], 2013, no. S4, pp. 187–199. (In Russ.)
3. Cheban A.Yu. Method and equipment for opencast mining of small steeply dipping deposits. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Bulletin of Magnitogorsk State Technical University], 2017, vol. 15, no. 3, pp. 18–23. (In Russ.)
4. Trubetskoy K.N. Solutions to achieve sustainable development in open pit mining. *Gorny Zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 6, pp. 71–76. (In Russ.)
5. 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.
6. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*, 2014, vol. 13, no. 3, pp. 941–962.
7. Cheban A.Yu. Production Complex for Open-Cast Mining of Solid Minerals. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], 2017, no. 3, pp. 8–11. (In Russ.)
8. Starke L. Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development. London: IIED, 2016. 480 p.
9. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia. Zement-Kalk-Gips Int. 2014, vol. 67, no. 10, pp. 18–19.
10. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. *Kombinirovannaja razrabotka rudykh mestorozhdenij* [Combined development of ore deposits]. Moscow: Gornaja kniga, 2012, 344 p. (In Russ.)
11. Gladyr A.V. Integration of microseismic and geoaoustic monitoring data. *Gorny informatsionno-analitichesky byulleten* [Mining bulletin], 2017, no. 6, pp. 220–234. (In Russ.)
12. Cheban A.Yu. A method for developing deep open pits using milling machines. *Markshejderija i nedropolzovanie* [Mine surveying and subsurface use], 2017, no. 4, pp. 23–29. (In Russ.)
13. Adams M. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam : Elsevier, 2016. 980 p.
14. Gladyr A.V., Miroshnikov V.I., Konstantinov A.V. Software and hardware improvement for the streltsov ore field geodynamic testing area. e3s web of conferences electronic resource. 2018, p. 02012.
15. Trubetskoy K.N., Sharap A.G. *Maloothodnye i resursosberegajushchie tehnologii pri otkrytoj razrabotke mestorozhdenij: monografiya* [Low-waste and resource-saving technologies in open pit mining: monograph]. Moscow: Nedra, 1993, 272 p. (In Russ.)
16. Cheban A.Yu. Technology of open pit mining optimised through the use of surface miners and spreaders. *Zapiski gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2015, vol. 214, pp. 23–27. (In Russ.)
17. Sanakulov K.S., Rudnev S.V., Kantsel A.V. On the possibility of using X-ray radiometric technique for the concentration of lead-zinc ores of the Uchkulalch deposit. *Gornyj vestnik Uzbekistana* [Mining bulletin of Uzbekistan], 2011, no. 1, pp. 17–20. (In Russ.)
18. Golik V.I. The practice of in-situ leaching of uranium ores. *Gorny informatsionno-analitichesky byulleten* [Mining bulletin], 2000, no. 5, pp. 50–52. (In Russ.)
19. Khakulov V.A., Krapivskiy E.I., Blaev B.Kh., Shapovalov V.A. Building the quality of the Tyrrauz ores through pre-separation and concentration. *Obogashchenie Rud* [Beneficiation of ores], 2018, no. 5, pp. 33–39. (In Russ.)
20. Modig K. *Kovsh s prosvetivajushhim prispособлением* [Bucket with a screening device]. Patent RF, no. 2042015, 1995. (In Russ.)
21. Cheban A.Yu. Selective development of the Elginsk coal deposit using an excavation and separation complex. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Bulletin of Tula State University. Earth sciences], 2017, no. 4, pp. 247–254. (In Russ.)
22. Pavlov A.M., Semenov Yu.M. Application of vacuum technology for ore stripping in the cryolitic zone of the Irokinda mine. *Gorny informatsionno-analitichesky byulleten* [Mining bulletin], 2007, no. 11, pp. 24–29. (In Russ.)

Submitted 01/10/2019; revised 14/11/2019; published 25/03/2020

Anton Yu. Cheban – Lead Researcher

Institute of Mining at the Khabarovsk Federal Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia. E-mail: chebanay@mail.ru

Artur G. Sekisov – Principal Researcher

Institute of Mining at the Khabarovsk Federal Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia. E-mail: sekisovag@mail.ru