

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

MINING

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

УДК 622.271

DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-1-5-13



ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ВЫЕМКИ ЦЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В ВЕСЬМА ТОНКИХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖАХ

Чебан А.Ю.

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

Аннотация. Актуальность и цель исследования. В связи со снижением качественных показателей запасов многих полезных ископаемых и усложнением условий их отработки все больший интерес начинают представлять запасы ценного минерального сырья, сосредоточенные в тонких и весьма тонких рудных жилах. Разработка подобных запасов с применением традиционных технологий, включающих взрывное рыхление, приводит к значительному разубоживанию рудной массы пустыми породами, это повышает себестоимость переработки сырья и снижает выход металла. В то же время известные технологии и оборудование для механической селективной выемки не обеспечивают должной эффективности при разработке весьма тонких жил, сложенных прочными горными породами. Перспективным способом извлечения локальных участков штучных руд может стать их оконтуривание посредством нарезания щелей. **Цель работы.** Обоснование ресурсосберегающего способа отработки весьма тонких рудных жил, обеспечивающего повышение производительности локальной механической выемки и снижение энергоемкости данного процесса. **Результаты.** Проведенные экспериментальные исследования по резанию образцов прочных околожильных пород одного из золоторудных месторождений Дальневосточного региона показали удовлетворительные результаты по производительности и энергоемкости. В статье предлагается способ комбинированной отработки весьма тонких рудных жил, содержащих ценное минеральное сырье, с применением усовершенствованного комбайна. Способ заключается в локальной опережающей механической высокоселективной восходящей выемке наиболее богатых участков крутопадающей жилы посредством нарезания щелей отрезными дисками по границам жилы и выламывания образовавшегося целика с помощью эластичного разжимного устройства с последующим взрывным рыхлением околожильных пород. Оставшаяся часть жилы с меньшими содержаниями металла в руде извлекается посредством традиционных технологий, основанных только на взрывном рыхлении прочных горных пород. Раздельная переработка руд различных сортов обеспечивает более высокие показатели извлечения металла, что компенсирует дополнительные затраты, связанные с локальной механической выемкой богатых участков жилы. **Выводы.** Применение предлагаемого способа по селективному извлечению наиболее богатых участков весьма тонких рудных жил с использованием усовершенствованного комбайна позволяет существенно сократить количество нарезаемых щелей, снизить энергоемкость процесса подготовки прочных горных пород к выемке и увеличить производительность оборудования в сравнении с известной комбинированной технологией. Выламывание оконтуренных щелями целиков посредством эластичного домкрата повышает надежность и качество механической выемки, а также обеспечивает снижение нагрузок на металлоконструкцию комбайна.

Ключевые слова: весьма тонкие рудные жилы, селективная механическая выемка, отрезные диски, нарезание щелей, эластичный домкрат, выламывание целиков, производительность, энергоемкость.

© Чебан А.Ю., 2022

Для цитирования

Чебан А.Ю. Обоснование способа выемки ценного минерального сырья, содержащегося в весьма тонких рудных залежах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №1. С. 5–13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-5-13>



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

SUBSTANTIATION OF A METHOD FOR PROCESSING VALUABLE MINERAL RAW MATERIALS CONTAINED IN VERY THIN ORE DEPOSITS

Cheban A.Yu.

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

Abstract. Relevance and purpose of the study. Due to a decline in the quality indicators of much mineral reserves and complicating conditions for their development, reserves of valuable mineral raw materials, concentrated in thin and very thin ore veins, are of growing interest. The development of such reserves using conventional technologies, including explosive ripping, leads to a significant dilution of the ore mass with empty rocks; this increases the cost of processing raw materials and reduces the throughput of metal. At the same time, well-known technologies and equipment for mechanical selective excavation do not provide adequate efficiency in the development of very thin ore veins composed of strong rocks. A promising method for extracting local areas of lump ores may be their delineation by cutting slots. **Objective.** Substantiation of a resource-saving method for mining very thin ore veins, providing an increase in performance of local mechanical extraction and a decrease in energy intensity of this process. **Results.** Experimental studies on cutting samples of vein rocks from one of the gold deposits of the Far East region showed satisfactory results in terms of performance and energy intensity of this process. The paper proposes a method of combined mining of very thin ore veins containing valuable mineral raw materials with an improved mining machine. The method consists in a local advanced mechanical highly selective ascending excavation of the richest sections of a steeply dipping ore vein by cutting slots with cutting discs along the vein boundaries and breaking out the formed pillar using an elastic expanding device, followed by explosive ripping of adjacent rocks. The rest of the vein with lower metal content in ore is recovered using conventional technologies based only on explosive loosening of solid rocks. Separate processing of various grades of ores provides higher rates of metal recovery, which compensates for the additional costs associated with local mechanical extraction of rich vein areas. **Conclusions.** The use of the proposed method for the selective extraction of the richest areas of very thin ore veins using the improved mining machine can significantly reduce the number of slots cut, reduce energy intensity of the process of preparing solid rocks for excavation and increase performance of equipment in comparison with the known combined technology. Breaking out the pillars contoured with slots by means of an inflatable jack increases reliability and quality of mechanical excavation, as well as reduces the load on the steel structure of the mining machine.

Keywords: very thin ore veins, selective mechanical mining, cutting discs, slotting, inflatable jack, pillars breaking, performance, energy intensity.

For citation

Cheban A.Yu. Substantiation of a Method for Processing Valuable Mineral Raw Materials Contained in Very Thin Ore Deposits. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 1, pp. 5–13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-5-13>

Введение

Недра России содержат значительный ресурсный потенциал стратегических видов минерального сырья, в том числе благородных и редких металлов, необходимых для развития высокотехнологичных отраслей производства. Разработка месторождений данного сырья должна осуществляться с применением малоотходных, энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий [1, 2]. В настоящее время в связи со снижением качественных показателей запасов многих полезных ископаемых и усложнением

условий их отработки все больший интерес начинают представлять запасы ценного минерального сырья, сосредоточенные в тонких и весьма тонких рудных жилах мощностью первые десятки сантиметров [3–5]. Так, содержание золота в жильной массе может составлять десятки и сотни грамм на тонну, однако по причине того, что минимальная ширина очистного пространства при ведении подземных работ составляет 0,9–1,1 м, неизбежно существенное разубоживание богатых руд околосильными породами, кроме того, взрывное рыхление ведет к переизмельчению части рудной массы. Разубоживание

и переизмельчение руд при добыче в дальнейшем приводит к увеличению затрат на обогащение и снижению сквозного извлечения металла [6–8], что в ряде случаев не позволяет рентабельно отрабатывать запасы, содержащиеся в весьма тонких жилах с использованием существующих технологий и оборудования.

Состояние вопроса и постановка проблемы

Ресурсосберегающие технологии освоения недр, прежде всего, должны быть реализованы при разработке месторождений ценного минерального сырья. Данные технологии должны обеспечивать по возможности полное использование всех вовлеченных в отработку ресурсов месторождения, а также уменьшение пересортицы и разубоживания извлекаемого из недр минерального сырья [9, 10].

Разработка массивов, сложенных скальными горными породами в настоящее время в основном ведется с применением взрывного рыхления, главным недостатком которого при разработке тонких рудных жил является ухудшение качества извлекаемого ценного минерального сырья в связи с его перемешиванием с околожилыми породами. Так, по данным [11] при разработке Коневинского золоторудного месторождения в процессе выемки жил средней мощностью 0,41 м при ширине очистного пространства 1,06–1,24 м разубоживание руды достигало 67 %, при этом содержание металла снижалось с 10,8 г/т в геологической руде до 3,5 г/т в добытой руде. Также неизбежны потери обогащенной рудной мелочи в породной части закладки при отбойке последующих слоев руды, в связи с чем в некоторых технологических схемах предлагается использование металлического настила, укладываемого на слой закладки в выработках, для уменьшения потерь рудной мелочи [5].

Для снижения потерь и разубоживания при разработке весьма тонких залежей отдельные участки наиболее богатых руд могут извлекаться механическим способом. В работе [12] предлагается технология выбуривания тонких жил скважинами диаметром 0,2–0,3 м. Недостатками данной технологии являются большие потери руды, оставляемой в межскважинных целиках, низкая производительность выемки и высокая удельная энергоемкость работ.

Для снижения удельной энергоемкости выемки полезного ископаемого из массива и повышения производительности разработаны технологические схемы с применением комбиниро-

ванного механического оборудования [13–15]. Известна технология отработки тонких залежей смешанным забоем с применением проходческого комбайна, оснащенного режущей головкой и гидравлическим молотом, при этом полезное ископаемое вынимается режущей головкой с образованием вруба, а более прочные вмещающие породы разрушаются гидравлическим молотом [13]. В работе [14] предлагается конструкция комбайна с комбинированным целевым рабочим органом, оснащенным дисковой фрезой для формирования в массиве отрезной щели и конической шарошкой для отрыва породных целиков, образуемых щелью. Недостатками рабочего оборудования комбайнов является невозможность селективной выемки весьма тонких рудных жил, а также низкая эффективность разработки скальных горных пород. Также процесс механического отрыва горных пород применяется в способе добычи каменных блоков из массива [16]. Способ заключается в бурении шпуров или скважин малого диаметра по линии будущего раскола, погружении в пробуренные выработки скважинных гидродомкратов с ориентированием их рабочих органов – пуансонов в сторону свободной поверхности каменного блока, создании отрывных усилий путем подачи рабочей жидкости в эластичные камеры гидравлических домкратов. Данный способ невозможно использовать для выемки тонкой рудной жилы без предварительного обнажения одного из ее бортов.

Известна комбинированная технология выемки тонких рудных жил [17], заключающаяся в нарезании щелей двумя отрезными дисками для оконтуривания жилы с последующим выламыванием полученного целика скалывающим диском. Затем производится нарезание щелей в околожилых породах с двух сторон от извлекаемой жилы с последующим выламыванием околожилых пород скалывающими дисками с целью формирования технологической выемки для размещения и последующего заглубления рабочего оборудования добычного комбайна. Комбинированная технология предусматривает восходящую механическую выемку тонкой жилы и околожилых пород, а также взрывное рыхление пустых пород с образованием горной выработки для размещения добычного комбайна. Недостатками данной технологии являются: многооперационность и низкая производительность механической выемки в связи с большим объемом работ по нарезанию щелей; высокие нагрузки на металлоконструкцию добычного комбайна

при выламывании целиков скалывающими дисками; возможность получения неровного скола при наличии трещин в массиве, что затруднит нарезание последующих щелей.

На Дальнем Востоке известен ряд золоторудных месторождений, существенная часть запасов которых сосредоточена в тонких и весьма тонких жилах. Некоторые из этих месторождений частично отработаны, например Кировское золоторудное месторождение, расположенное в Амурской области [18]. Отработка Кировского месторождения велась с применением традиционных технологий, было добыто 9,4 т золота при среднем содержании металла в руде 8,5 г/т. По данным различных источников к настоящему времени на месторождении известно от 300 до 500 золоторудных жил, из которых разведано около 70 жил и эксплуатировалась только 31 жила [18]. Мощность жил варьируется от 0,1 до 1,5 м при средней мощности 0,3 м, контакты жил четкие, при этом нередко разветвления и апофизы, падение рудных жил крутое и составляет 60–90 градусов в разные стороны, существенная часть запасов месторождения содержится в единичных кварцевых жилах мощностью 0,1–0,2 м [19, 20]. Содержание золота варьируется в значительных пределах: от 3 до 96 г/т, в отдельных случаях достигая 3 кг/т, золото также присутствует в околосильных породах с содержанием до 1,0–1,5 г/т на мощность до 0,8 м с обоих бортов залежи [19]. В настоящее время месторождение не осваивается, в том числе по причине отсутствия эффективной технологии извлечения минерального сырья из весьма тонких рудных жил.

Повысить эффективность горных работ и вовлечь в отработку (доработку) месторождения ценного минерального сырья, запасы которых сосредоточены в весьма тонких рудных жилах, возможно за счет применения новых технологических решений, основанных на соблюдении условия ресурсосбережения. Рассмотренные выше методы механической выемки тонких рудных тел посредством выбуривания или выпиливания имеют низкую производительность, высокую энергоемкость работ, ограниченную функциональность или сопряжены с большими потерями минерального сырья в недрах. Перспективным направлением, обеспечивающим повышение производительности, снижение энергоемкости и уменьшение потерь руды при разработке весьма тонких жил, является комбинированный способ выемки, сочетающий нарезание щелей с последующим скалыванием

оконтуренных целиков [17], который, однако, также имеет ряд недостатков, указанных выше.

Целью исследования является обоснование ресурсосберегающего способа отработки весьма тонких рудных жил, обеспечивающего повышение производительности и надежности локальной механической выемки, снижение нагрузок на металлоконструкцию комбайна, в сравнении с известной комбинированной технологией.

Результаты исследования

Для обоснования возможности реализации механической выемки весьма тонких жил с предварительным нарезанием щелей в Институте горного дела ДВО РАН были проведены экспериментальные исследования на образцах околосильных пород (гранодиоритов) одного из дальневосточных золоторудных месторождений, разрабатываемого подземным способом. В процессе исследований были определены прочность образцов околосильных пород на одноосное сжатие, производительность и энергоемкость процесса нарезания щелей отрезным диском в образцах околосильных пород.

Цилиндрические образцы гранодиоритов, для проведения испытаний по определению прочности на одноосное сжатие, вырезались из геолого-разведочных кернов диаметром 63 мм на отрезном станке Geocat производства фирмы Metkon instruments Ltd (Турция). Мощность электродвигателя отрезного станка составляет 4,3 кВт, диаметр отрезного диска равен 300 мм. Всего было вырезано 12 образцов (по два образца из шести кернов), по одному образцу от каждого керна было использовано для проведения экспериментов по определению прочности, оставшиеся образцы использовались для нарезания в них щелей отрезным диском. Предел прочности гранодиоритов определялся методом одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами [ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии]. Сжатие производилось на испытательной машине Toni PACT II производства фирмы Toni Technick Baustoffprüfsystem (Германия), по результатам экспериментальных исследований прочность образцов гранодиоритов на одноосное сжатие составила 182–218 МПа.

Нарезание щелей производилось в торцевой части цилиндрических образцов гранодиоритов по осевой линии на отрезном станке Geocat. Щели нарезались отрезным диском на глубину 60 мм с одновременным хронометражем процес-

са, время нарезания щели по осевой линии на разных образцах изменялось в пределах от 14,1 до 17,2 с, при этом среднее время резания составило $t_p=15,4$ с. На основании данных хронометража возможно определить производительность нарезания щелей отрезным диском по формуле

$$\Pi = \frac{s_{\text{щ}}}{t_p} = \frac{d \cdot h}{t_p}, \quad (1)$$

где $s_{\text{щ}}$ – площадь нарезанной щели, см^2 ; d – диаметр образца, см ; h – глубина щели, см .

Исходя из геометрических параметров образцов и результатов хронометражных наблюдений, производительность нарезания щели составила $2,45 \text{ см}^2/\text{с}$ или $0,882 \text{ м}^2/\text{ч}$. На одном из образцов дополнительно к осевой торцовой щели была нарезана параллельная щель по хорде с формированием оконтуренного щелями целика околосильных пород (рис. 1).

Энергоемкость процесса нарезания щели может быть определена по формуле

$$e = \frac{N}{\Pi}, \quad (2)$$

где N – мощность на привод отрезного диска, кВт; Π – производительность нарезания щелей, $\text{м}^2/\text{ч}$.

С учетом мощности привода отрезного станка и производительности нарезания щелей в образцах энергоемкость процесса составляла $4,87 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$. Полученные экспериментальные результаты по производительности и энергоемкости процесса нарезания щелей в прочных околосильных породах можно считать удовлетворительными для обеспечения реализации предлагаемого ниже способа.



Рис. 1. Образец околосильных пород с нарезанными щелями

Fig. 1. Sample of vein rocks with cut slots

Распределение золота в жилах носит нелинейный характер – от десятых долей грамма до сотен грамм на тонну руды [11]. При наличии в весьма тонкой жиле локальных зон с высокими содержаниями ценного компонента в руде целесообразно вести их высокоселективное механическое извлечение. Институтом горного дела ДВО РАН предлагается ресурсосберегающий способ комбинированной выемки, обеспечивающий существенное повышение производительности и уменьшения энергоемкости работ за счет двукратного сокращения количества нарезанных щелей в сравнении с технологией, представленной в работе [17]. Предлагаемый способ реализуется следующим образом. В подземной горной выработке 1, проходящей по простиранию весьма тонкой жилы 2, устанавливается усовершенствованный комбайн, включающий оборудование для нарезания щелей в массиве и оборудование для выламывания оконтуренного целика 3 жилы 2, которое закреплено на раме 4 (рис. 2, а). Рама 4 поворачивается гидроцилиндром 5 в поперечной плоскости для позиционирования оборудования с учетом угла падения жилы 2. Нарезание щелей в массиве осуществляется двумя отрезными дисками 6, 7, установленными на расстоянии b , равном мощности оконтуриваемого щелями целика 3 жилы 2, на поворотной балке 8, внутри которой расположена цепная передача 9, а также привод 10 для вращения отрезных дисков 6, 7. При нарезании щелей 11, 12 усовершенствованный комбайн движется вдоль горной выработки 1. После оконтуривания целика 3 жилы 2 в одну из щелей в автоматическом режиме посредством поворотного рычага 13 устанавливается эластичный домкрат 14, при этом позиционирование эластичного домкрата 14 в щели 11 осуществляется посредством поворотного кронштейна 15 с гидроцилиндром 16.

Известна конструкция малогабаритного прямоугольного эластичного домкрата, позволяющего развивать существенные усилия [22]. Эластичный домкрат состоит из резиновой герметизирующей камеры прямоугольной формы, капронового каркаса и резинового покровного слоя при размерах герметизирующей камеры $0,25 \times 0,40$ м и давлении газа 1,2 МПа, распорное усилие будет составлять порядка 120 кН. Эластичный домкрат 14 действует равномерно по всей боковой поверхности 17 целика 3 и обеспечивает скол целика 3 у его основания 18. Усилие,

создаваемое эластичным домкратом 14, замыкается на стенки щели 11 и не приводит к нагружению металлоконструкции комбайна. Выломанный целик 3 под действием силы тяжести перемещается по прорезаемой выемке 19 в накопительный контейнер 20 усовершенствованного комбайна. Выламывание целиков 3 производится последовательно с остановками и последующим перемещением комбайна вдоль горной выработки 1 на длину L отделяемого целика 3.

После отработки весьма тонкой жилы 2 на глубину h производится возвращение комбайна в

исходное положение, посредством поворотной балки 8 осуществляется подъем отрезных дисков 6, 7 на высоту, соответствующую глубине нарезания щелей h , и рабочий цикл повторяется. Последовательное заглубление отрезных дисков 6, 7 осуществляется до формирования прорезаемой выемки 19 на глубину H , после чего производится бурение шпуров 21, их зарядание и взрывание околожилных пород 22 с образованием горной выработки 23 шириной B для последующего размещения усовершенствованного комбайна (рис. 2, б).

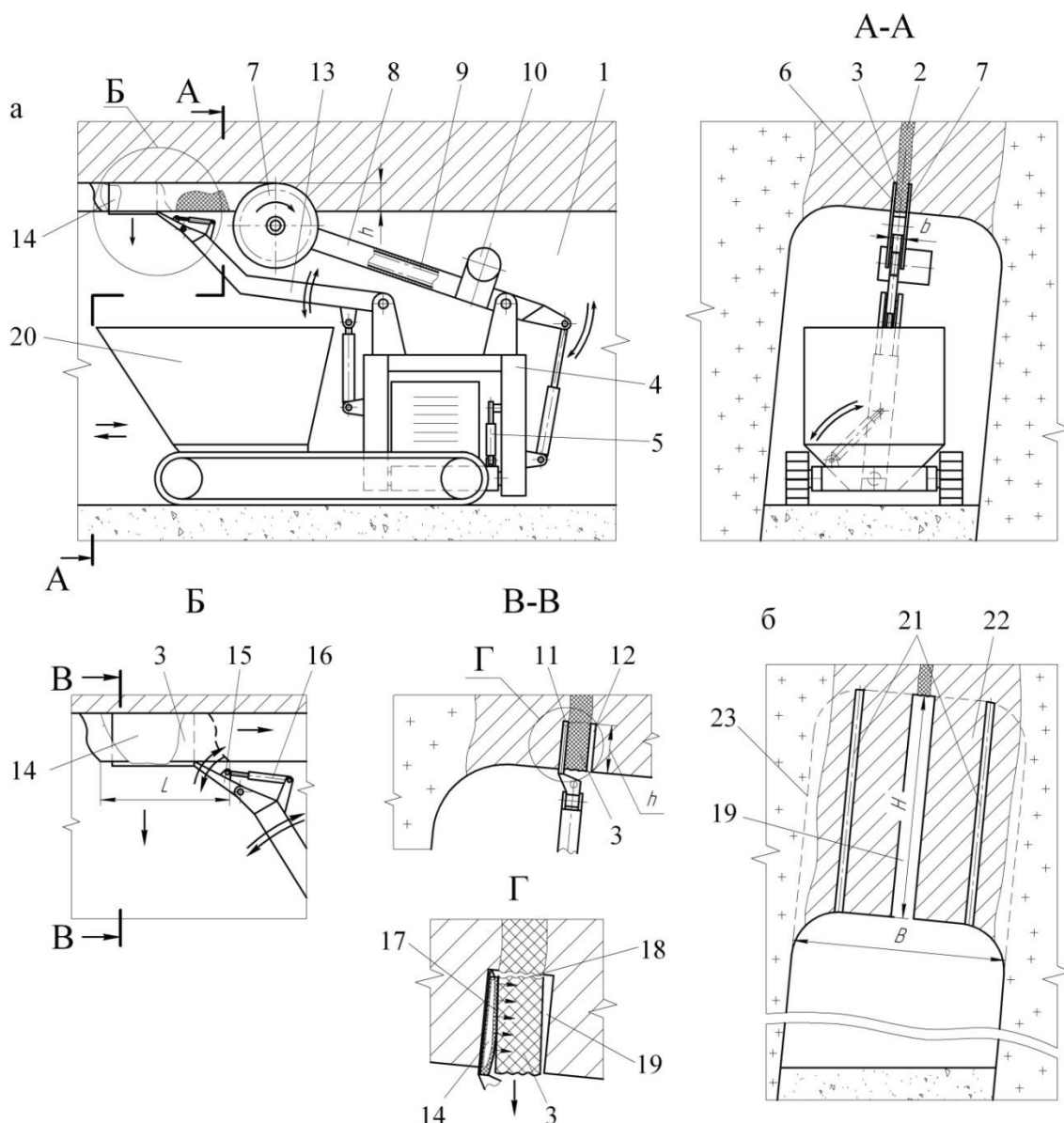


Рис. 2. Схема комбинированной выемки весьма тонкой рудной жилы и околожилных пород:

а – нарезание щелей по границам жилы и отделение оконтуренного целика с применением усовершенствованного комбайна; б – подготовка околожилных пород к взрывному рыхлению

Fig. 2. Combined mining of a very thin ore vein and vein rocks: а is cutting slots along the vein boundaries and breaking out the contoured pillar using the improved mining machine; б is preparation of vein rocks for explosive ripping

Богатая рудная масса весьма тонкой жилы, собранная в накопительном контейнере комбайна, перегружается на транспортное средство и отправляется на обогащательную фабрику, где после гравитационного обогащения и получения концентрата направляется непосредственно на плавку, что обеспечивает высокие показатели извлечения металла и компенсирует дополнительные затраты, связанные с локальной механической выемкой богатых участков жилы. Минерализованная горная масса, полученная из околосильных пород в процессе взрывного рыхления, поднимается на поверхность известными способами, направляется на дробление, после чего перерабатывается с применением кучного выщелачивания.

Углубленные расчеты показывают, что предлагаемый комбинированный способ целесообразно использовать для выемки участков жил мощностью 0,1–0,2 м с содержаниями металла в руде 50–60 г/т и более. Так, при разработке рудной жилы мощностью 0,15 м с содержанием золота в геологической руде 50 г/т и в околосильных породах 1 г/т с применением традиционного взрывного способа рыхления при ширине очистного пространства 1,0 м разубоживание руды составит 85,0%, а содержание металла в добытой руде 8,35 г/т. В случае применения предлагаемой комбинированной технологии с прирезкой по бортам жилы околосильных пород мощностью ориентировочно по 1–2 см с каждой стороны объем околосильных пород, включенных в вырезаемый целик жилы, составит около 20 % объема оконтуренной руды, тогда разубоживание составит 16,7%, а содержание металла в отколотых целиках мощностью 0,18 м – 41,8 г/т. Весьма богатая руда может быть переработана с извлечением металла в концентрат равным 95%, извлечение металла из раздробленных околосильных пород в процессе кучного выщелачивания составляет 60–65%, таким образом, общее извлечение металла при комбинированной технологии составит 92,3% [22]. В то же время ориентировочное извлечение металла в концентрат из руды с содержанием 8,35 г/т, полученной после взрыва, составит не более 90% [22].

Удельная площадь нарезаемых щелей для локальной выемки 1 м³ весьма богатой руды жилы в виде целика по технологии-прототипу, представленной в работе [17], и предлагаемой технологии может быть определена по формуле

$$S_y = \frac{n + n_b}{b}, \quad (3)$$

где $n = 2$ – число щелей для оконтуривания целика; n_b – число вспомогательных щелей (для предлагаемой технологии $n_b = 0$, для технологии-прототипа $n_b = 2$); b – мощность оконтуриваемого щелями целика, м.

При мощности целика $b = 0,18$ м удельная площадь нарезаемых щелей по технологии-прототипу составит 22,2 м²/м³, а по предлагаемой технологии – 11,1 м²/м³. Таким образом, предлагаемая технология с применением усовершенствованного комбайна в сравнении с технологией-прототипом [17] позволит вдвое уменьшить количество и площадь нарезаемых щелей, что существенно повысит производительность локальной выемки богатой руды и снизит удельную энергоемкость процесса.

Оставшаяся часть жилы с меньшими содержаниями металла в руде извлекается посредством традиционных технологий, основанных только на взрывном рыхлении прочных горных пород.

Выводы

Использование ресурсосберегающего комбинированного способа по селективному извлечению наиболее богатых участков весьма тонких рудных жил с применением усовершенствованного комбайна позволяет существенно сократить количество нарезаемых щелей, снизить энергоемкость процесса подготовки прочных горных пород к выемке и увеличить производительность оборудования в сравнении с известной комбинированной технологией-прототипом. Применение эластичного домкрата для выламывания оконтуренных целиков повышает надежность и качество механической выемки, а также обеспечивает снижение нагрузок на металлоконструкцию комбайна. Высокоселективная механическая выемка путем вырезания наиболее богатых участков жилы позволяет максимально сократить потери ценного минерального сырья при добыче. Отсутствие взрывного воздействия на тонкую жилу исключает переизмельчение извлекаемой рудной массы, что повысит эффективность процесса ее последующей переработки. Раздельная переработка богатой рудной массы жилы и минерализованных вмещающих пород позволит получить более высокое общее извлечение металла из руд сложноструктурного массива в сравнении с традиционной технологией, основанной на применении взрыва.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.
2. Espinoza R.D., Rojo J. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector // Resources Policy. 2017. Vol. 52. P. 7–18.
3. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18–23.
4. Гораш Ю.Ю. Развитие золотодобычи на Дарасунском руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 11. С. 154–156.
5. Рогизный В.Ф., Хромов В.М. Селективная выемка маломощных рудных тел с применением малогабаритного самоходного оборудования // Рациональное освоение недр. 2019. № 2–3. С. 88–98.
6. Обоснование параметров рудничной сепарации рудничной массы при разработке медных месторождений Жезказганского региона / Юн Ю.А., Есина Е.Н., Рыльников А.Г., Гаджиева Л.А. // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2019. № 3. С. 203–212.
7. Adams M.D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
8. 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.
9. Эффективность комбинирования технологий выемки руд в пределах рудного поля / Голик В.И., Лукьянов В.Г., Качурин Н.М., Стась Г.В. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 10. С. 32–39.
10. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. Principles of projecting mining-and-engineering systems for integrated mineral mining with a combined geotechnology // Journal of Mining Science. 2008. Vol. 44. No. 6. Pp. 578–584.
11. Павлов А.М., Васильев Д.С. Повышение эффективности подземной разработки тонких крутопадающих жил // Горная промышленность. 2017. № 1. С. 86–87.
12. Поздняков М.В., Михайлов Ю.В., Курбанмагомедов К.Д. Выбор безопасной технологической схемы добычи крепких маломощных руд выбуриванием // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. № 2. С. 52–55.
13. Лабутин В.Н. Применение комбинированного способа разрушения горных пород при проведении выработок смешанным забоем // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 3. № 2. С. 108–113.
14. Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов / Дмитрак Ю.В., Картавый А.Н., Картавый Н.Г., Серов В.А. // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 7. С. 2–7.
15. Yucong P., Quansheng L., Qi L. Full-scale linear cutting tests to check and modify a widely used semi-theoretical model for disc cutter cutting force prediction // Acta geotechnical. 2020. Vol. 15. No. 6. Pp. 1481–1500.
16. Несмеянов Б.В., Несмеянова Ю.Б., Горожанкин В.В. К вопросу отстройки бортов карьеров с использованием нетрадиционных способов и средств разрушения горных пород // Маркшейдерия и недропользование. 2012. № 6. С. 38–41.
17. Чебан А.Ю. Технология комбинированной выемки тонких рудных жил из массивов, сложенных прочными горными породами // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 1. С. 261–270.
18. Степанов В.А., Мельников А.В. Месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации Приамурской провинции // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 108–116.
19. Атлас многофакторных моделей золоторудных месторождений Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во Дальневосточного института минерального сырья, 2000. 204 с.
20. Минеральный состав и типоморфные особенности минералов золоторудных жил Кировского месторождения (Верхнее Приамурье) / Гвоздев В.И., Горячев Н.А., Вах А.С., Федосеев Д.Г., Семеняк Б.И. // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 6. С. 40–51.
21. Пат. 2322383 Российская Федерация, МПК В66F 3/24, В66F 3/35, В66F 5/04. Пневматический домкрат / Е.С. Аникин, А.В. Лихарев, Б.Ф. Погорелый; заявитель и патентообладатель ФГУП НПП «Прогресс». № 2006135866/11; заявл. 10.10.2006; опубл. 20.04.2008.
22. Шумилова Л.В., Резник Ю.Н., Трубачев А.И. Переработка золотосодержащих руд методом кучного и кюветного выщелачивания: проблемы и перспективы развития. Чита: ЧитГУ, 2009. 388 с.

References

1. Trubetskoy K.N., Shapar A.G. *Malootkhodnye i resursosberegayushchie tekhnologii pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy* [Low-waste and resource-saving technologies in open pit mining]. Moscow: Nedra, 1993, 272 p. (In Russ.)
2. 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.
3. Cheban A.Yu. Method and equipment for opencast mining of small steeply dipping deposits. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2017, vol. 15, no. 3, pp. 18–23. (In Russ.)
4. Gorash Yu.Yu. Development of gold mining at the Darasunsky mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy*

- byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2004, no. 11, pp. 154–156. (In Russ.)
5. Rogizny V.F., Khromov V.M. Selective mining of thin ore bodies using small self-propelled underground equipment. *Ratsionalnoe osvoenie nedr* [Mineral Mining & Conservation], 2019, no. 2–3, pp. 88–98. (In Russ.)
 6. Yun Yu.A., Esina E.N., Ryl'nikov A.G., Gadzhieva L.A. Substantiating mining separation parameters of mining mass by the development of Zhezkazgan region copper deposits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [Izvestiya of Tula State University. Series: Earth Sciences], 2019, no. 3, pp. 203–212. (In Russ.)
 7. Adams M.D. Gold ore processing: project development and operations. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
 8. 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.
 9. Golik V.I., Lukyanov V.G., Kachurin N.M., Stas G.V. Efficiency of combining ore mining technologies within an ore field. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2020, vol. 331, no. 10, pp. 32–39. (In Russ.)
 10. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. Principles of designing mining and engineering systems for integrated mineral mining with a combined geotechnology. *Journal of Mining Science*, 2008, vol. 44, no. 6, pp. 578–584.
 11. Pavlov A.M., Vasiliev D.S. Enhancing the efficiency of underground mining of steeply dipping thin veins. *Gornaya promyshlennost* [Mining Industry], 2017, no. 1, pp. 86–87. (In Russ.)
 12. Pozdnyakov M.V., Mikhailov Yu.V., Kurbanmagomedov K.D. Selecting a safe process flow diagram of mining thin ores by drilling. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta* [Newsletter of North Caucasus Federal University], 2013, no. 2, pp. 52–55. (In Russ.)
 13. Labutin V.N. A combined method of rock destruction in mixed face excavation. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk* [Basic and Applied Issues of Mining Sciences], 2016, vol. 3, no. 2, pp. 108–113. (In Russ.)
 14. Dmitrak Yu.V., Kartavy A.N., Kartavy N.G., Serov V.A. Development of low-cutting working tools of VSA type mining machines for thin coal beds. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics], 2012, no. 7, pp. 2–7. (In Russ.)
 15. Yucong P., Quansheng L., Qi L. Full-scale linear cutting tests to check and modify a widely used semi-theoretical model for disc cutter cutting force prediction. *Acta geotechnica*, 2020, vol. 15, no. 6, pp. 1481–1500.
 16. Nesmeyanov B.V., Nesmeyanova Yu.B., Gorozhankin V.V. On construction of open-pit sides with untraditional methods and equipment for disintegration of rock. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use], 2012, no. 6, pp. 38–41. (In Russ.)
 17. Cheban A.Yu. Technology of combined excavation of thin ore veins from masses packed by strong rocks. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [Izvestiya of Tula State University. Series: Earth Sciences], 2021, no. 1, pp. 261–270. (In Russ.)
 18. Stepanov V.A., Melnikov A.V. Deposits of gold-sulphide-quartz formation of the Amur province. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2016, no. 68, pp. 108–116. (In Russ.)
 19. *Atlas mnogofaktornykh modeley zolotorudnykh mestorozhdeniy Dalnego Vostoka* [Atlas of multifactor models of gold deposits in the Far East]. Khabarovsk: Publishing House of the Far Eastern Institute of Mineral Resources, 2000, 204 p. (In Russ.)
 20. Gvozdev V.I., Goryachev N.A., Vakh A.S., Fedoseev D.G., Semenyak B.I. Mineral composition and typomorphic features of minerals in gold veins of the Kirovskiy deposit (the Upper Amur region). *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 2013, vol. 32, no. 6, pp. 40–51. (In Russ.)
 21. Anikin E.S., Likharev A.V., Pogorely B.F. *Pnevmaticheskyy domkrat* [Pneumatic jack]. Patent RF, no. 2322383, 2008.
 22. Shumilova L.V., Reznik Yu.N., Trubachev A.I. *Perrabotka zolotosoderzhashchikh rud metodom kuchnogo i kyuvetnogo vyshchelachivaniya: problemy i perspektivy razvitiya* [Processing of gold-bearing ores by heap and vat leaching: problems and prospects of development]. Chita: ChitSU, 2009, 388 p. (In Russ.)

Поступила 07.12.2021; принята к публикации 11.01.2022; опубликована 25.03.2022
Submitted 07/12/2021; revised 11/01/2022; published 25/03/2022

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