

Оригинальная статья / Original article

УДК 622.272

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-4-97-106>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

© А.М. Павлов^а, А.А. Федоляк^б

^{а,б}Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ: Жильные месторождения золота Восточной Сибири находятся в труднодоступных районах с суровым резко континентальным климатом и характеризуются сложными условиями геологической среды, что негативно влияет на рентабельность производства. Задача повышения эффективности подземной добычи руд при разработке данных месторождений является актуальной. Целью проводимых исследований стало решение задачи по повышению эффективности разработки жильных месторождений золота. Методы исследований базируются на глубоком изучении условий залегания золоторудных тел и геомеханического состояния массива горных пород с применением натурных наблюдений и измерений, математического моделирования, лабораторных и промышленных испытаний. В результате этого был обоснован и предложен порядок отработки наклонных золотосодержащих жил в технологически выделенных контурах запасов с разделением на зоны производства работ (рабочая, зачистки, локализации) с последующим погашением пустот регулируемым обрушением. При внедрении данной технологии впервые на золоторудных месторождениях России была применена взрывозащищенная гидравлическая крепь и вакуумная зачистка руды. Для эффективной выемки крутопадающих жил была создана конструкция гибкой системы расположения буровых штреков при подэтажной системе разработки. Массив горных пород закреплялся с буровых штреков. Крепление пород производилось в комбинации с канатными анкерами. Это позволило эффективно осуществлять добычу руды в неустойчивых породах. Балансовые запасы тонких крутопадающих жил предложено обрабатывать с подэтажной отбойкой руды с нисходящим порядком щелевой выемки и опорным креплением. Проведенные работы по совершенствованию технологии разработки жильных месторождений позволили рудникам значительно снизить издержки по производству металла.

Ключевые слова: жильные месторождения, геологическая среда, геомеханическое состояние массива, дискретность, технологический контур, криолитозона, геотехнология, система разработки

Информация о статье: Дата поступления 1 ноября 2018 г.; дата принятия к печати 3 декабря 2018 г.; дата онлайн-размещения 28 декабря 2018 г.

Для цитирования: Павлов А.М., Федоляк А.А. Повышение эффективности подземной разработки золоторудных месторождений Восточной Сибири. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2018;41(4):97–106. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-97-106.

^аПавлов Александр Митрофанович, доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Института недропользования, тел.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu
Alexander M. Pavlov, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Mineral Deposits Development of the Institute of Subsoil Use, tel.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu

^бФедоляк Александр Алексеевич, аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Института недропользования, тел.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu
Alexander A. Fedolyak, Postgraduate student of the Department of Mineral Deposits Development of the Institute of Subsoil Use, tel.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu

IMPROVING EFFICIENCY OF GOLD DEPOSIT UNDERGROUND MINING IN EASTERN SIBERIA

© Alexander M. Pavlov^a, Alexander A. Fedolyak^b

^{a,b}Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federation

ABSTRACT: Vein deposits of gold in Eastern Siberia are located in remote areas with a severe sharp-continental climate and are characterized by complex conditions of geological environment. This fact jeopardises the profitability of production. The task of increasing the efficiency of ore underground mining in the development of these deposits is relevant. The purpose of the conducted researches is to solve the problems of improving the development efficiency of vein gold deposits. Research methods are based on the profound study of gold ore body occurrence conditions and the geomechanical state of the rock massif using field observations and measurements, mathematical modeling, laboratory and industrial tests. As a result of this, the mining order of inclined gold-bearing veins in technologically separated contours of reserves with the division into production zones (working, stoping, localization) and subsequent backfilling of voids by controlled caving was substantiated and proposed. When this technology was introduced in Russian gold mines, an explosion-proof hydraulic support and vacuum stoping of ore were used for the first time. A structure of the flexible system of stope drift location has been created for a sublevel development system in order to provide the effective excavation of steeply dipping veins. The rock massif was supported from stope drifts. The rocks were supported using rope anchors. This enabled the effective extraction of ore in unstable rocks. It is proposed to mine the balance reserves of thin steeply dipping veins by sublevel ore breaking with combined overhand-underhand stoping and support work. The carried out works directed at the improvement of the development technology of vein deposits allowed significant reduction in the costs of metal production at the mines.

Keywords: vein deposits, geological environment, geomechanical state of the massif, discreteness, technological contour, cryolithozone, geotechnology, development system

Information about the article: Received November 1, 2018; accepted for publication December 3, 2018; available online December 28, 2018.

For citation: Pavlov A.M., Fedolyak A.A. Improving efficiency of gold deposit underground mining in Eastern Siberia. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*. 2018;41(4):97–106 (In Russ.). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-97-106.

Введение

Золоторудные месторождения Бурятии залегают в сложных условиях геологической среды горного ландшафта Восточных Саян и отрогов Муйского хребта. Основным характеризующим фактором сложности является изменчивость параметров, характеризующих эту среду в пределах выемочной единицы [1, 2]. Рассмотрим основные из них:

- рудное тело изменчиво по мощности, с отходящими апофизами;
- углы залегания меняются по падению и простиранию, а следовательно, и рельеф кровли или боков рудного тела варьирует сменой направления с чередо-

ванием прогибов (синклиналей) и куполов (антиклиналей);

- имеются зоны расщепления во вмещающих породах, которые копируют форму рельефа кровли и изменчивы по мощности;

- интенсивность трещиноватости руд и пород может меняться от малой до высокой, что является причиной изменений устойчивости обнажений массива горных пород;

- в условиях криолитозоны присутствует знакопеременная температура массива горных пород и атмосферы шахтного поля, существуют участки с переходными зонами;

– содержание металла в руде крайне не выдержано и имеет дискретный характер распределения, значения чередуются от богатых до убогих и пустых, породных участков [3–7].

Все вышеперечисленные параметры характеризуют геологическую среду как сложную по строению и устойчивости и непосредственно затрудняют процессы отработки эксплуатационных запасов блока, что влечет за собой высокие экономические потери бизнеса. Для выполнения поставленной задачи по повышению эффективности освоения коренных месторождений золота был разработан алгоритм ее решения.

Методы исследований

На основе данных, полученных в результате изучения геологической среды, производится следующее:

– определение значений природных напряжений по данным натурных измерений методом щелевой разгрузки и решения обратных геомеханических задач, выявление направления главного напряжения [8];

– районирование массива пород криолитозоны на области, различающиеся устойчивостью при знакопеременном температурном состоянии шахтного поля, на основе методики измерения температуры пород;

– картирование пород и руд шахтного поля по устойчивости с использованием в качестве ключевого метода интенсивности трещиноватости пород массива;

– построение технологического контура эксплуатационных запасов блока с учетом фрактальных свойств распределения металла на основе разработанной методики технологического оконтуривания;

– обоснование параметров систем разработки с использованием математического моделирования.

Таким образом, с учетом данного комплексного подхода в дальнейшем

разрабатывался порядок технологии добычи руды по критериям, подходящим по горно-геологическим условиям, безопасности и экономической эффективности [9–11].

Для упрощения были приняты ключевые решения:

– разделить очистной блок на участки, обрабатываемые в системе автономно с учетом изменения условий геологической среды;

– время стояния отработанного пространства свести к минимуму.

Благодаря такому подходу были решены задачи повышения эффективности ведения очистных работ на ряде рудников Восточной Сибири.

Результаты исследований

Так, например, золоторудное месторождение Зун-Холбинское, расположенное в Восточных Саянах, представляет собой маломощные и средней мощности крутопадающие рудные тела жильного типа со сложной морфологией. Руды средней устойчивости, породы при обнажении находятся в неустойчивом состоянии. Золото в руде распределяется крайне неравномерно и дискретно, порой не имеет четких контуров. Добыча руды ведется на больших глубинах – до 900 м от поверхности. Для сложных условий разработки месторождения вместо дорогостоящей и трудоемкой слоевой системы разработки с твердеющей закладкой и креплением были обоснованы параметры и обеспечено внедрение системы разработки со скважинной отбойкой с поэтажей (буровых штреков) и магазинированием руды.

Оконтуривание запасов очистного блока в пределах этажа производилось по специально разработанной методике технологического оконтуривания эксплуатационных запасов, учитывающей фрактальные свойства распределения металла в руде [3].

Система расположения буровых штреков в местах изменения углов

залегания позволяет произвести качественное оконтуривание забоя при скважинной отбойке, тем самым свести разубоживание к минимуму (рис. 1). Для того чтобы удержать борта от обрушения в очистной камере, подэтажи (буровые штреки) крепятся анкерами, а затем, после анкерной прошивки массива пород, производится закрепление бортов через траверсы (штрипсы) канатными анкерами [3, 12].

На основе полученных данных о геомеханическом состоянии массива горных пород месторождения было произведено математическое моделирование, в результате которого установлено, что толщина зоны растягивающих напряжений в бортах очистной камеры не превышает 3–3,5 м. Следовательно, длина анкеров с учетом необходимости их зацепления за нетронутый массив составляет не менее 4–5 м. Проведенные натурные

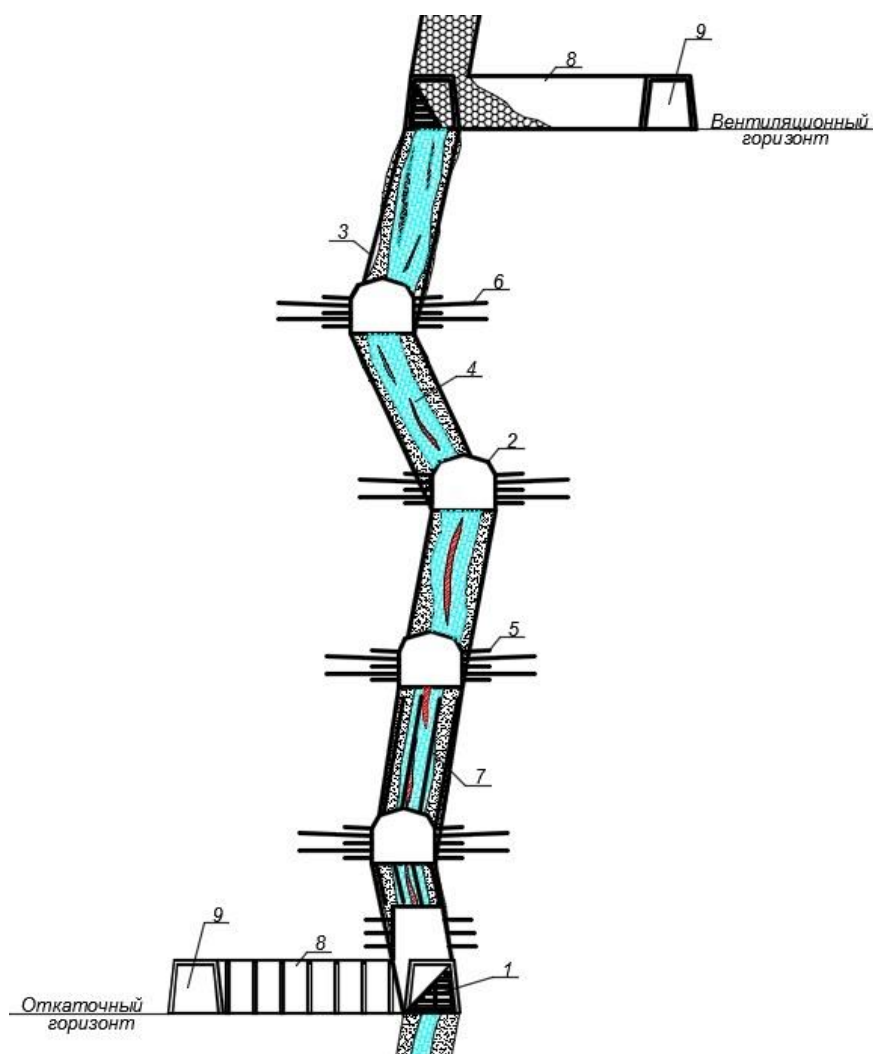


Рис. 1. Расположение подэтажей (буровых штреков):

1 – днище блоков; 2 – буровой штрек; 3 – выемочный контур; 4 – рудное тело;
5 – сталеполимерный анкер; 6 – тросовый анкер; 7 – скважина;
8 – орт-заезд; 9 – полевой штрек

Fig. 1. Location of sublevels (stope drifts):

1 – block bottom; 2 – stope drift; 3 – extraction contour; 4 – ore body;
5 – steel polymer anchor; 6 – cable anchor; 7 – well;
8 – access crosscut; 9 – fringed drift

наблюдения при отработке опытных блоков подтвердили, что обрушение вмещающих пород с боков после времени стояния блока 50 суток произошло на глубину не более 3 м.

Время устойчивого стояния бортов очистной камеры до начала процесса обрушения t_{cm} определяется как суммирование времени процесса отбойки $t_{отб}$ и времени процесса выпуска руды $t_{вып}$. В зависимости от количества закрепленных подэтажей получаем время устойчивого стояния бортов очистной камеры блока

$$t_{cm} = t_{отб} + t_{вып} = \frac{K_{эмп} \cdot h_p}{\gamma \cdot L_э^2} \cdot \sqrt{\frac{n}{4}},$$

где $K_{эмп}$ – эмпирический коэффициент; h_p – мощность разрушения слоя пород, м; γ – объемный вес пород, Мн/м³; $L_э$ –

величина эквивалентного пролета камеры, м; n – количество поясов крепления.

Мощность слоя h_p устанавливается исходя из пространственного положения растягивающих напряжений в бортах камер на различной глубине разработки. Расчеты и математическое моделирование выявили зависимость, при которой с уменьшением размера очистной камеры по простиранию время ее стояния с магазинированной рудой до ее выпуска увеличивается (рис. 2).

Таким образом, путем подбора размеров очистной камеры и конструктивных параметров системы расположения буровых выработок, выполняющих роль поясов крепления, удалось временно удерживать вмещающие породы бортов блока от обрушения на период отбойки и выпуска руды.

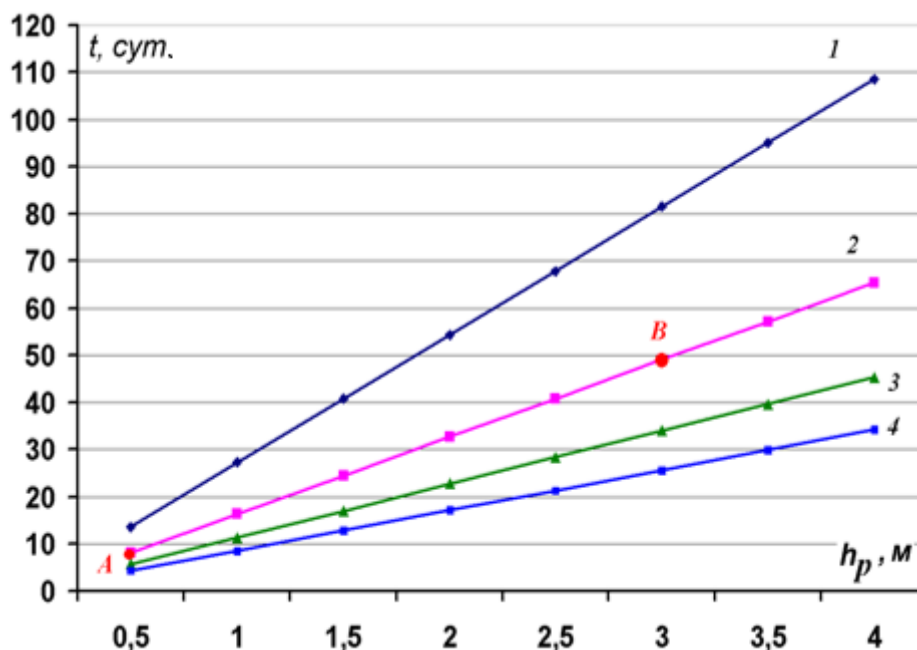


Рис. 2. График зависимости времени устойчивого состояния очистной камеры t от глубины крепления бортов при четырех поясах крепления

Ширина камеры: 1 – 15 м; 2 – 20 м; 3 – 25 м; 4 – 30 м

Для точек A и B фактически установлено время стояния ряда отработанных камер на руднике

Fig. 2. Dependence graph of stope steady state time t on the depth of side support with four support bands:

Stope width 1 – 15 m; 2 – 20 m; 3 – 25 m; 4 – 30 m

Time period of dead stopes being abandoned

at the mine is determined for the points A and B

Производственные испытания предложенной системы разработки на Зун-Холбинском золоторудном месторождении в опытных блоках показали, что возможно уменьшить потери руды на 20 %, повысить производительность отбойки запасов блока в три раза и снизить себестоимость добычи руды в два раза по сравнению с применяемой слоевой системой разработки с твердеющей закладкой и креплением.

На золоторудном месторождении Коневинском, находящемся также в Восточных Саянах, ведется отработка крутопадающих тонких жил системой с магазинированием руды в условиях многолетней мерзлоты. Характерной особенностью рудных тел является невыдержанность по элементам залегания и крайне неравномерное распределение содержания в руде. Основным недостатком применяемой системы разработки является повышенное разубоживание – 67 % при средней мощности жилы 0,4 м, что приводит к нерентабельной добыче руды.

Исследования показали, что помимо сверхнормативного прихвата боковых пород разубоживание увеличивается за счет отбойки породных участков и участков убогой руды при сплошной выемке запасов. В ходе анализа площадей отработанных блоков обнаружено, что площадь убогой руды с содержанием металла менее 1 г/т составляет в среднем 15 %. Присутствующая субпараллельная и секущая система трещин в массиве вмещающих пород способствует развитию вторичного разубоживания после производства взрывных работ. Наличие отрицательной температуры практически не противостоит данному виду нарушения устойчивости боковых пород, но влияет на смерзание отбитой руды. При обосновании параметров геотехнологии добычи руды расчеты и математическое моделирование показали, что массив в целом устойчив и не склонен к обрушениям при пролетах до 100 м (двух

этажей) при ширине блока 50 м, что подтверждается опытом отработки при отрицательных температурах и глубинах до 300 м. Отслоению подвержена приконтактная часть пород мощностью не более 0,5 м. Исходя из этого, пришли к выводу, что технология очистной выемки руды должна осуществляться с исключением из процесса отбойки руды участков породы и убогой руды, при этом необходимо максимально возможно снизить мощность очистного пространства, не допустив вторичного разубоживания. Для соблюдения таких условий был разработан порядок отработки балансовых запасов уступным забоем по простиранию с нисходящей выемкой и опорным креплением подэтажей [12]. Обоснованы конструктивные параметры данной системы разработки. Подэтажные штреки проходят сечением 2,4×0,8 м через 5,6 м. Боковые породы по кровле подэтажа крепятся анкерами через стрипсы, что препятствует разрушению пород при щелевой отбойке коротких уступов.

Такой порядок ведения очистных работ позволяет оставлять забалансовые участки и не исключает возможности выборочной отбойки руды с оставлением породы в блоке. Для защиты от возможных обрушений боковых пород, расположенных по восстанию, в отработанном пространстве предусматривают заградительную бутовую полосу.

Предложенная технология была испытана в опытных блоках с положительным эффектом. Применение данной системы разработки позволит улучшить качество добываемой руды в два раза, при этом достичь производительности труда горнорабочего по отбойке жильной массы в смену не менее, чем с системой с магазинированием руды, и в целом снизить издержки по производству металла на 29 %.

Ирокиндинское золоторудное месторождение наклонного залегания жильного типа расположено в многолет-

немерзлых породах Южно-Муйского хребта. Вмещающие породы представлены зонами рассланцевания, склонными к обрушению. Добыча руды осуществляется камерно-столбовой системой с креплением, основным недостатком которой являются большие потери руды в целиках и на почве очистного блока. На момент проведения исследований по совершенствованию геотехнологии были оставлены большие площади шахтного поля с неотработанными запасами в целиках, равными двум годовым планам по добыче руды, кроме того создавалась угроза неуправляемого обрушения кровли при выемке целиков. Назрела необходимость разработки технологии добычи руды из балансовых целиков и отработки запасов без оставления целиков. Проведенное исследование выявило, что допустимый пролет обнажения кровли может достигать 50 м, а напряжение в целиках меньше допустимого. Стало понятно, что целики служат только для поддержания зоны рассланцевания, мощность которой не превышает 1 м. Анализ потерь руды показал, что в подошве очистного пространства происходит наморозка рудной мелочи и ее заглаживание в процессе доставки, тем самым создается мнимое видение чистого контакта с вмещающими породами. Оказалось, что фактические потери отбитой руды в почве блока в три раза больше нормативных.

На основании проведенных исследований было выполнено обоснование параметров сплошной системы разработки, при которой добыча руды производилась широким забоем по простиранию с креплением. Данный порядок ведения процессов очистных работ позволяет производить также выемку целиков с локализацией отработанного пространства. В основе технологии заложен порядок выемки запасов, который позволяет не накапливать отработанные площади в выемочном блоке. Для этого эксплуата-

ционный участок блока (подэтаж) разделяется на три зоны: первая – отбойки, крепления и доставки, вторая – вакуумной зачистки руды, третья – локализации пустот (рис. 3).

В качестве поддержания очистного пространства вместо целиков была применена взрывозащищенная гидрокрепль, с помощью которой поддерживалась зона рассланцевания. Для зачистки подошвы блока от рудной мелочи было предложено использовать вакуумную технологию. Для этой цели применили вакуумные установки производства ЮАР, позволяющие транспортировать рудную мелочь размером до 50 мм по трубам до места погрузки на расстояние до 50 м [3]. После окончания процесса зачистки гидрокрепль демонтировалась в отступающем порядке и использовалась в рабочей зоне, а незакрепленная зона локализовалась посредством ограждения или ее погашения. Разработанный порядок позволил улучшить условия промышленной безопасности и охраны труда за счет исключения накопления больших площадей пустот и своевременной их локализации.

Предлагаемая система разработки прошла промышленные испытания на Ирокиндинском месторождении. Ее применение в опытных блоках обеспечило повышение производительности труда в 1,5 раза, потери полезного ископаемого при добыче сокращены с 9 % плановых до 3 % фактических. В дальнейшем с использованием предложенной технологии была решена проблема добычи руды из оставленных целиков в отработанных блоках с погашением пустот.

Выводы

Проведенные данные исследования по совершенствованию технологии подземной разработки жильных золоторудных тел в сложных условиях геологической среды для ряда высокогорных месторождений Восточной Сибири позволили обосновать эффективные

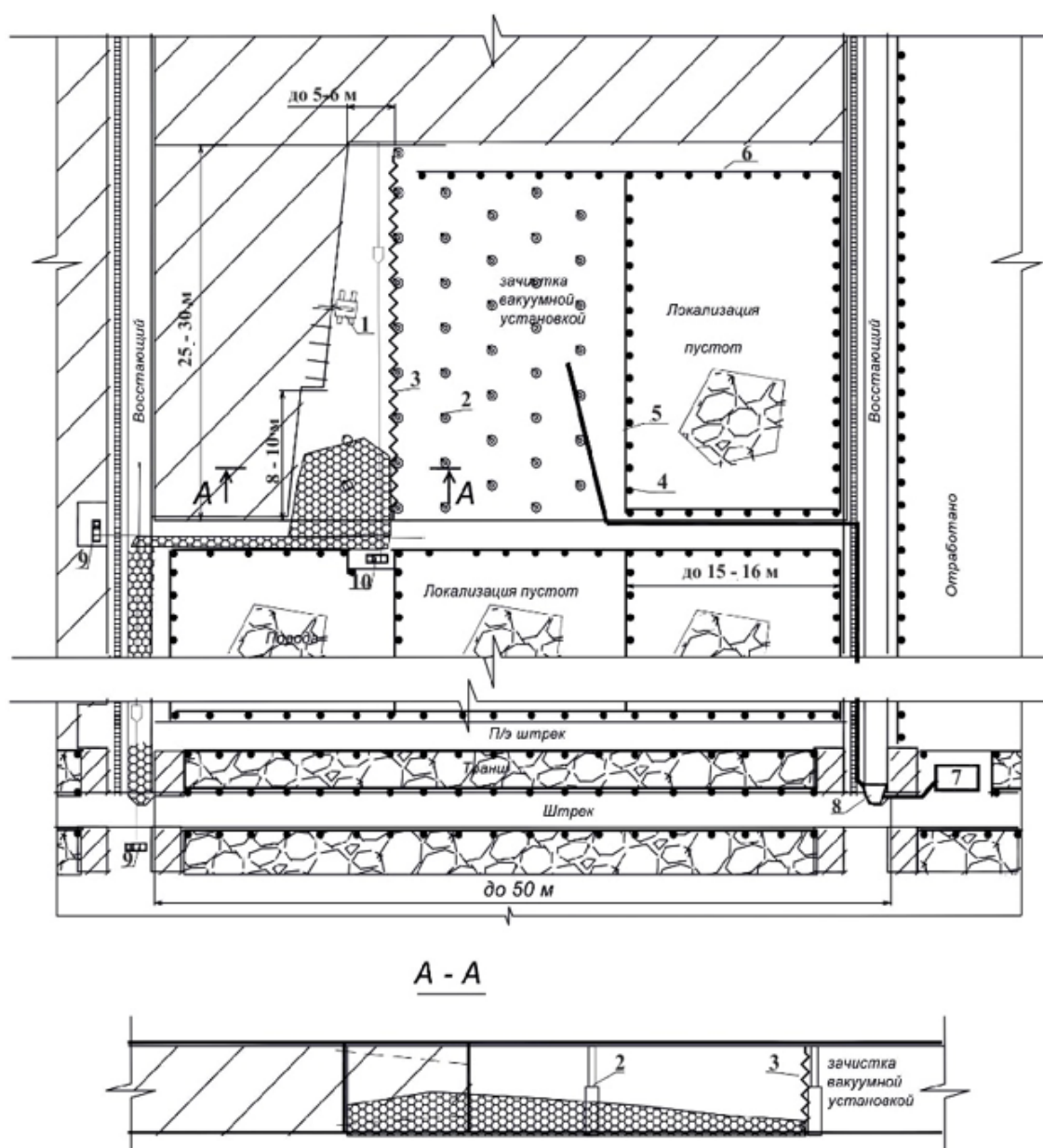


Рис. 3. Расположение зон ведения добычи руды

- 1 – буровой станок на санях; 2 – гидравлическая стойка; 3 – экран (полимерная сетка);
4 – распорная стойка; 5 – дощатый отшив; 6 – отшив скреперной дорожки; 7 – вакуумная установка;
8 – сепаратор; 9 – скреперная лебедка 30ЛС-2с; 10 – скреперная лебедка 10ЛС-2с

Fig. 3. Location of ore mining zones

- 1 – sliding drilling machine; 2 – hydraulic prop; 3 – screen (polymer mesh);
4 – anchor prop; 5 – fenced-off boardwalk; 6 – fenced-off scraper path; 7 – vacuum unit;
8 – separator; 9 – scraper hoist 30LS-2s; 10 – scraper hoist 10LS-2s

параметры систем разработки месторождений золота, в результате чего повысить производительность труда и снизить себестоимость добычи металла, при этом улучшить условия труда горнорабочих очистного забоя. Результаты внедре-

ния предложенных технологий отработки запасов показали, что производственные издержки по добыче руды сокращались до 30 % по сравнению с применяемыми системами разработки.

Библиографический список

1. Галченко Ю.П., Сабянин Г.В. Проблемы геотехнологии жильных месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2011. 367 с.
2. Назарчик А.Ф., Олейников И.А., Богданов Г.И. Разработка жильных месторождений. М.: Недра, 1977. 240 с.
3. Павлов А.М. Совершенствование технологии подземной разработки жильных месторождений золота. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. 128 с.
4. Курсакин Г.А. Технология разработки золоторудных жильных месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2002. 237 с.
5. Шевченко А.Е., Пирогов Г.Г. Совершенствование системы разработки Ново-Широкинского месторождения подэтажными штреками // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 357–363.
6. Тальгамер Б.Л., Снетков В.И. Основные тенденции изменения качества и достоверности запасов золота в Восточной Сибири // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 6 (49). С. 51–56.
7. Pires D. Mineral project evaluation // Mine Management Bulletin. October 2012. P. 30–32.
8. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. 208 с.
9. Павлов А.М., Васильев Д.С. Влияние геологической среды на качество добываемой руды Коневинского месторождения // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 4 (57). С. 83–90.
10. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2013. Vol. 60. P. 345–352.
11. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading // 7th International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, 13–15 May 2013. Perth, 2013. P. 221–233.
12. Павлов А.М., Васильев Д. С. Повышение эффективности подземной разработки тонких крутопадающих жил // Горная Промышленность. 2017. № 1 (131). С. 86–87.

References

1. Galchenko Yu.P., Sabyanin G.V. *Problemy geotekhnologii zhil'nykh mestorozhdenii* [Problems of vein deposit geotechnology]. Moscow: Nauchtehlitizdat Publ., 2011, 367 p. (In Russian).
2. Nazarchik A.F., Oleinikov I.A., Bogdanov G.I. *Razrabotka zhil'nykh mestorozhdenii* [Development of vein-type deposits]. Moscow: Nedra Publ., 1977, 240 p. (In Russian).
3. Pavlov A.M. *Sovershenstvovanie tekhnologii podzemnoi razrabotki zhil'nykh mestorozhdenii zolota* [Improving the technology of underground mining of vein-type gold deposits]. Irkutsk: Irkutsk State Technical University Publ., 2013, 128 p. (In Russian).
4. Kursakin G.A. *Tekhnologiya razrabotki zolotorudnykh zhil'nykh mestorozhdenii* [Development technology of gold-ore vein deposits]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2002, 237 p. (In Russian).
5. Shevchenko A.E., Pirogov G.G. Improvement of the system development

Novo-Shirokinskogo field sublevel drifts. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2016, no. 7, pp. 357–363. (In Russian).

6. Tal'gamer B.L., Snetkov V.I. Main tendencies of gold reserve quality and reliability change in Eastern Siberia. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2014, no. 6 (49), pp. 51–56. (In Russian).

7. Pires D. Mineral project evaluation. *Mine Management Bulletin*, October 2012, pp. 30–32.

8. Vlokh N.P. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* [Mining pressure control in underground mines]. Moscow: Nedra Publ., 1994, 208 p. (In Russian).

9. Pavlov A.M., Vasil'ev D.S. The effect of geological environment on Konevinskoe deposit ore quality. *Izvestiya Sibir-*

skogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2016, no. 4 (57), pp. 83–90. (In Russian).

10. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2013, vol. 60, pp. 345–352.

11. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading. 7th International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, 13–15 May 2013. Perth, 2013, pp. 221–233.

12. Pavlov A.M., Vasil'ev D.S. Enhancing the efficiency of underground mining of steeply dipping thin veins. *Gornaya Promyshlennost'* [Mining Industry], 2017, no. 1 (131), pp. 86–87. (In Russian).

Критерии авторства

Павлов А.М., Федоляк А.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Pavlov A.M., Fedolyak A.A. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.