

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОТРАБОТКЕ ПОДМЕРЗЛОТНЫХ ГОРИЗОНТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДРАН



**А. Н. ПЕТРОВ,**  
зав. кафедрой,  
канд. техн. наук



**А. М. АЛЕКСЕЕВ,**  
старший  
преподаватель

Северо-Восточный федеральный университет  
им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия



**С. Г. КОЛЕСНИКОВ,**  
начальник ПТО,  
ЗАО «Горнорудная  
компания «Западная»



**Д. Н. ПЕТРОВ,**  
научный сотрудник,  
канд. техн. наук,  
Институт горного дела Севера  
им. Н. В. Черского СО РАН,  
petrovdn74@mail.ru

### Введение

Золоторудное месторождение Бадран расположено в Оймяконском улусе Республики Саха (Якутия), объект с 1984 г. разрабатывается подземным способом — одноименным рудником ГРК «Западная». Сырьевую базу рудника составляют балансовые запасы трех (I, II и III) рудных столбов, приуроченных к минерализованной зоне дробления «Надвиговая». Первый и второй рудные столбы непосредственно примыкают друг к другу, а третий расположен на расстоянии 1,8 км западнее второго. Все рудные тела месторождения по падению отнесены к наклонным (угол падения изменяется от 21 до 34°); мощность тел невыдержанная (изменяется от 0,5 до 2 м и более).

Физико-механические свойства руд и вмещающих пород месторождения в зоне распространения многолетней мерзлоты позволяли успешно применять камерную систему разработки с льдопородной закладкой и камерно-столбовую с рудной подготовкой [1, 2]. При достижении горных работ нижней границы мерзлоты снизилась устойчивость обнажений, участились случаи вывалов и локальных обрушений, наблюдалось разрушение крепи

Приведены основные положения проекта опытно-промышленных работ на нижних горизонтах золоторудного месторождения Бадран в Якутии.

**Ключевые слова:** подмерзлотные горизонты, прочностные свойства пород, схема вскрытия, полевая подготовка, система разработки с креплением и сухой закладкой, параметры очистных работ.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.09

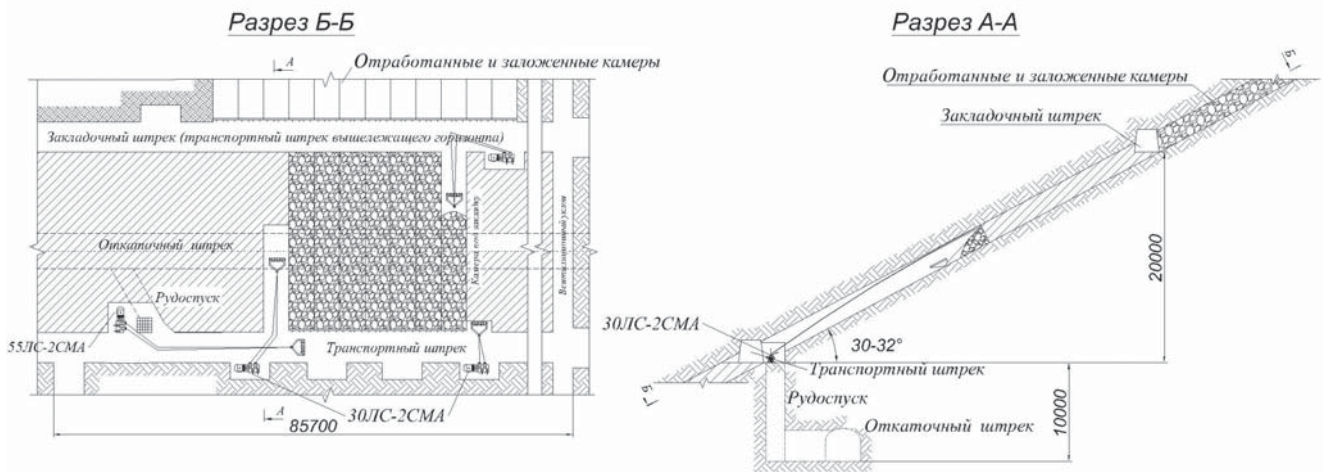
подготовительных выработок. Исследование физико-механических свойств пород показало, что на прочностных свойствах вмещающих пород (предел прочности на растяжение снизился в среднем до 2 МПа) отрицательно сказывается повышение температуры массива и увлажнение горных пород [3]. При этом первый фактор исключал возможность применения системы разработки с льдопородной закладкой. Возникла необходимость в изыскании новых технологических решений в изменившихся природных условиях.

### Разработка проекта опытно-промышленных работ на нижних горизонтах месторождения Бадран

При отработке запасов подмерзлотных горизонтов в криолитозоне практически всегда возникают трудности, связанные в первую очередь с изменением устойчивости горных пород, гидрогеологических условий и температурного режима в подземных горных выработках [4–7]. Предприятия, ведущие подземную разработку в аналогичных условиях на Аляске, в Канаде и Швеции, применяют в основном различные варианты систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями [8–10]. В условиях северо-востока Якутии ситуация усложняется высокой стоимостью, а зачастую и невозможностью бесперебойной доставки необходимых материалов и оборудования [1, 2, 5].

В связи с вышеизложенным руководством компании было принято решение отработку запасов переходной зоны вести по сплошной системе с креплением и сухой закладкой выработанного пространства (**рис. 1**). Применение данной технологии, несмотря на ряд недостатков, присущих данному классу систем в целом, позволило довольно успешно отработать запасы нижних горизонтов I рудного столба.

В 2015 г. ГРК «Западная» приступила к освоению подмерзлотных горизонтов III рудного столба. Особенностью разведанных запасов является увеличенная мощность рудных тел, достигающая на отдельных участках 9 м. Результаты исследований показали, что прочностные свойства милонитизированных пород с понижением глубины разработки резко снижаются (предел проч-



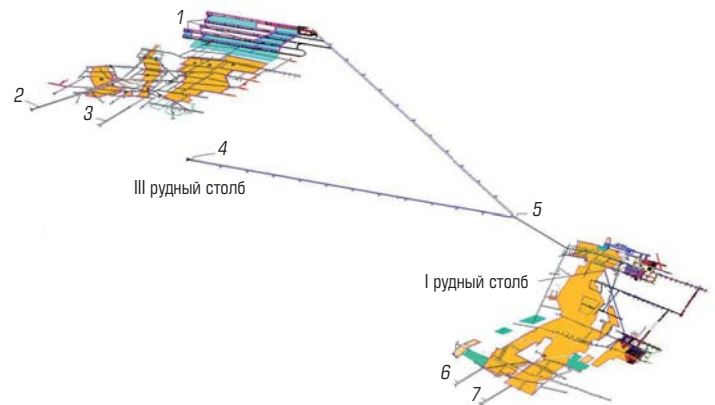
**Рис. 1. Сплошная система разработки с креплением и сухой закладкой выработанного пространства**

ности на растяжение составил в среднем 1,86 МПа). То же наблюдается и по I рудному столбу.

С целью повышения достоверности данных о горнотехнических и технологических условиях добычи, количестве и качестве руды, был составлен «Проект опытно-промышленных работ на нижних горизонтах III рудного столба». Учитывая имеющийся производственный опыт, для отработки балансовых запасов было принято решение применить использующуюся на руднике сплошную систему с креплением и последующей закладкой выработанного пространства. Технической задачей являлась адаптация данной технологии к условиям нижних горизонтов III рудного столба, повышение производительности труда и улучшение условий вентиляции при использовании имеющихся горных выработок и инфраструктуры рудника.

Проектом предусмотрено применение на проходческих работах и транспортировании горной массы по откаточным штрекам высокопроизводительного горного оборудования, доказавшего свою эффективность при разработке ряда рудных месторождений Сибири [11–13] — самоходной буровой установки *Boomer T1D* и погрузочно-доставочной машины *ST-2D* в сочетании с шахтным самосвалом *MT-2010*. Применение самоходного оборудования потребовало проведения дополнительного наклонного ствола (рис. 2).

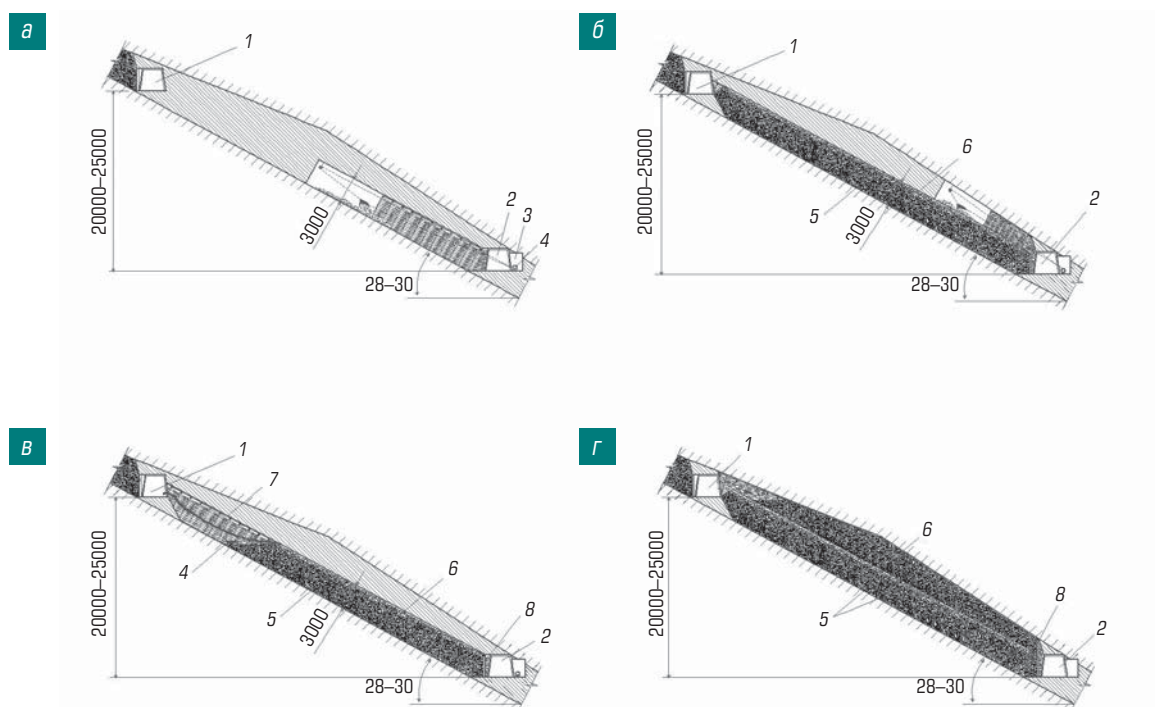
От ствола в сторону рудного тела проходятся спиральный съезд и наклонные заезды на полевые откаточные штреки. Трасса ствола в плане имеет V-образную форму, что будет использовано для вскрытия нижних горизонтов I рудного столба. Часть ствола ведут под углом 8°. На отметке +658 м ствол выполаживают до 0°, и выполняют петлевой разворот ствола радиусом 8,77 м. Далее ствол проходят под углом 8° до гор. +490 м, где оформляется околоствольный двор. В месте разворота наклонный ствол сбивается с выработками I рудного столба вентиляционным штреком, что позволит использовать для проветривания общешахтную струю воздуха с отрицательной температурой от вентиляционной сети I рудного столба.



**Рис. 2. Схема вскрытия нижних горизонтов III рудного столба:**  
 1 — вскрываемые запасы; 2, 3 — существующие наклонные стволы III рудного столба, людской и грузовой соответственно; 4 — проектируемый наклонный ствол; 5 — вентиляционный штрек; 6, 7 — существующие наклонные стволы, вскрывающие I рудный столб

Одним из факторов, существенно усложнявших отработку запасов нижних горизонтов I рудного столба, являлась рудная подготовка. С целью улучшения геомеханической обстановки в проекте принята подготовка полевыми откаточными штреками. Штреки проводят со стороны лежачего бока ниже на 10 м от контура рудного тела по вертикали. Полевые штреки сбивают с рудными доставочными штреками рудоспусками через погрузочные орты-заезды. Для передвижения людей и вентиляции из откаточных штреков проходят вертикальные людские ходки.

Форма поперечного сечения выработок прямоугольно-сводчатая. В зоне многолетнемерзлых пород крепление ствола осуществляется металлическими клинщелевыми или фрикционными анкерами с затяжкой кровли металлической сеткой. В зоне переходных (–2 ... 0 °С) и положительных температур крепление



**Рис. 3. Сплошная система разработки с креплением и закладкой выработанного пространства со слоевой выемкой в восходящем порядке:**

*а* — выемка первого слоя; *б* — закладка первого слоя; *в* — выемка второго слоя; *г* — закладка второго слоя;  
 1 — вентиляционный штрек; 2 — доставочный штрек; 3 — ниша скреперной лебедки; 4 — скреперная установка;  
 5 — сухая закладочная смесь; 6 — бетонный настил; 7 — крепь; 8 — перемычка

выработок проводится арочной крепью из спецпрофиля СВП-22 с затяжкой кровли и боков.

В целом технология очистных работ аналогична таковой, применявшейся ранее при отработке запасов нижних горизонтов I рудного столба. Выемочной единицей также является эксплуатационный блок, ограниченный по падению скреперными рудными штреками при вертикальной высоте этажа 20 м, а по простиранию — уклонами. Очистные работы ведутся с выемкой по восстанию полос шириной 2,5 м.

Угол падения и невыдержанная мощность рудного тела не позволяют применить при отбойке руды и закладке камер самоходное оборудование, в связи с этим бурение шпуров проводится перфораторами ПП-63В, доставка рудной массы до рудоспусков скреперными установками. Проветривание забоев осуществляется вентилятором местного проветривания ВОЭ-5. Погрузка отбитой руды из бункерных ям под рудоспусками ведется погрузочно-доставочной машиной ST-2D в шахтный самосвал МТ-2010 и транспортируется на поверхность.

Производительность труда забойного рабочего на очистных работах составит 2,5 т/чел.смену, на проведении выработок — 1,7 т/чел.смену. Суточная добыча из одной очистной камеры составит 84,5 т, что сравнимо с показателем при ранее применявшейся технологии. Но использование самоходного оборудования на транспортировании и подъеме рудной массы позволит повысить производственную мощность рудника с 92 до 110 тыс. т руды в год за счет одновременной отработки трех очистных камер.

Отличительной особенностью очистных работ является закладка полос при отработке блоков с выемочной мощностью рудного тела выше 3 м (рис. 3). Закладка камеры ведется секциями. По мере заполнения камеры закладкой проводится боковая затяжка обополом с внутренней стороны стоек НДО. Закладочный материал по верхнему закладочному скреперному штреку доставляется до камеры и далее поступает в нее с помощью скреперной установки ЗОЛС-2СМА и скрепера специальной конструкции с ковшем вместимостью 0,6 м<sup>3</sup>. Сравнительно небольшая длина секции закладки позволяет визуально контролировать качество и полноту закладки. Первоначально обрабатывается и закладывается первый слой мощностью 3 м, приуроченный к лежащему борту рудного тела. Закладку слоя предусматривается вести «сухой» породой с дополнительно создаваемой в подкровельном пространстве очистной камеры «подушки» из твердеющей смеси толщиной 0,2–0,4 м.

Для закладочных работ принят передвижной комплекс, включающий шахтный самоходный бетоносмеситель MIXKRET 4, уже применявшийся в условиях Севера [14], и передвижной шахтный бетононасос с разборным бетонопроводом РС-307. Загрузка бетоносмесителя составляющими твердеющей смеси проводится на поверхности, перемешивание — в ходе транспортирования ее по выработкам. Бетононасос устанавливается в заезде к людскому ходу. Разборный бетонопровод из заезда через материальное отделение людского хода выводится на скреперный штрек, далее по уклону прокладывается до закладываемой камеры. За-

ливка бетонной смесью над закладочным материалом в камеру ведется по разборному пульповоду. После закладки камеры сухой дробленой породой на длину 4 м закачивается бетонная смесь под кровлю камеры. При заливке твердеющей бетонно-щебенной смесью часть раствора, проникая между обалом и верхняками, заполняет пространство над крепью. При отработке вышележащего слоя бетонная прослойка будет служить основанием для установки крепи в камере и позволит исключить частичное разубоживание и потери при скреперовании по бетонной «подушке». Затем цикл повторяется.

Нормативная прочность твердеющей закладочной смеси для несущего слоя искусственной кровли должна составлять  $\sigma_{сж} \geq 2,5$  МПа. Для рассматриваемых условий выбрана смесь марки 30. Расчеты показали, что расход на 1 м<sup>2</sup> кровли камеры бетонной смеси составит 1 м<sup>3</sup>, бетона, соответственно, 0,3 м<sup>3</sup>. Расчетная нормативная прочность закладочного массива составит 3,5 МПа.

После отработки и закладки первого слоя запасов осуществляется зарезка второго слоя с нижележащей камеры, с обустройством места зарезки креплением из спецпрофиля СВП-22 и затяжкой. При очистной выемке второго слоя запасов проводит-

ся частичное магазинирование руды по всей длине камеры с оставлением рудной «рубашки», которая извлекается после полной отработки и активирования.

Для повышения устойчивости призабойного пространства отработка блока ведется от середины к флангам. При этом в обязательном порядке осуществляется контроль за состоянием массива, устойчивостью подготовительных и очистных выработок.

### Заключение

Технологические решения по отработке подмерзлотных горизонтов месторождения Бадран направлены на повышение эффективности добычи руды. Применение самоходного оборудования позволит за счет мощности, мобильности и многофункциональности повысить производительность труда. Проведение подготовительных выработок в более прочных вмещающих породах снизит затраты на их крепление и поддержание, предотвратит возникновение аварийных ситуаций вследствие влияния очистных работ. Принятые проектом параметры очистных работ позволят отработать запасы с минимальными потерями и разубоживанием. По результатам опытно-промышленных работ будет составлен проект отработки подмерзлотных запасов всего месторождения.

### Библиографический список

1. Необутов Г. П., Гринев В. Г. Разработка рудных месторождений с использованием замораживаемой закладки в условиях многолетней мерзлоты: монография. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1997. — 104 с.
2. Петров А. Н., Петров Д. Н. Совершенствование технологии закладки выработанных камер льдородной смесью в криолитозонах // Горный журнал. 2015. № 4. С. 26–28. doi: 10.17580/gzh.2015.04.05
3. Необутов, Г. П., Зубков В. П., Петров Д. Н. Оценка устойчивости обнажений массива горных пород в условиях подземной разработки месторождений криолитозоны // Научное обозрение. 2014. № 8. С. 941–944.
4. Изаков В. Ю., Гринев В. Г., Самохин А. В., Необутов Г. П., Зубков В. П., Шулеев С. П. Оценка геомеханического состояния массива при отработке месторождений в криолитозоне // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1993. № 3. С. 26–29.
5. Klishin V. I., Vlasov V. N. Problems of Uderground Mining of Kimberlite Deposits in Permafrost Zone // Permafrost Engineering : Proceedings of the 5th International Symposium. — Yakutsk, 2002. Vol. 2. P. 12–15. (на англ. яз.)
6. Павлов А. М., Семенов Ю. М., Сосновский Л. И. Определение параметров устойчивых целиков и обнажений камер при разработке наклонных жил в криогенных зонах в условиях Ирокиндинского золоторудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 10. С. 21–27.
7. Иудин М. М. О влиянии геокриологических условий на процессы подземной разработки рудных месторождений Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. Отд. выпуск № 10. С. 97–101.
8. Coil D., Lester M., Higman B. Gold Mining Methods / Ground truth trekking. 2014. URL: <http://www.groundtruthtrekking.org/Issues/MetalsMining/GoldMiningMethods.html> (дата обращения: 30.08.2016).
9. Scales M. One of a kind. Lac des iles palladium mine expands // Canadian Mining Journal. February/March 2012. P. 22–24.
10. The Björkdal Mine. Underground mining / Horn International. URL : <http://hornonline.com/the-bjorkdal-mine> (дата обращения: 30.08.2016).
11. Лизункин В. М., Матвеев А. Е. Технология отработки крутопадающих сближенных урановых жил малой мощности // Вестник Забайкальского государственного университета. 2011. № 9. С. 91–94.
12. Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Барановский К. В. Технология восходящей выемки золоторудного месторождения с применением сухой закладки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 9. С. 14–19.
13. Петров А. Н., Нукифоров Л. А. Опыт подземной разработки золотосурьмяного месторождения Сентачан // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. Отд. выпуск № 10. С. 185–191.
14. Putzmeister SPM 4210 WETKRET and Mixkret 4 Working at Rasvumchorr Underground Mine in Russia // mining.technologu.com : News, views and contacts from the global Mining industry : [website]. 2015. URL: <http://www.mining-technology.com/contractors/roofing/putzmeister-2/pressputzmeister-rasvumchorr.html> (дата обращения: 30.08.2016). **TX**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 9, pp. 46–50  
DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.09](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.09.09)

#### Process design of mining underneath the permafrost layer at Badran deposit

#### Information about authors

A. N. Petrov<sup>1</sup>, Head of a Chair, Candidate of Engineering Sciences

A. M. Alekseev<sup>1</sup>, Senior Lecturer

S. G. Kolesnikov<sup>2</sup>, Head of Technological Department

D. N. Petrov<sup>3</sup>, Researcher, Candidate of Engineering Sciences, petrovdn74@mail.ru

<sup>1</sup> Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup> Zapadnaya Gold Mining Limited, Yakutsk, Russia

<sup>3</sup> Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

#### Abstract

This article describes technological schemes of accessing, development and stoping at lower horizons of Badran gold ore deposit in Yakutia.

The underground mining experience is discussed. It is found that strength properties of enclosing rock mass drop with mining transition to deeper levels due to higher temperature and moisture content of rocks. A scheme is proposed for gaining access to lower horizons via an inclined shaft at an angle of 8–10°. The included self-propelled equipment allows higher productivity of labor owing to better capacity, mobility and multifunctional performance.

In order to improve geomechanical conditions, in-stone development of ore body is recommended, with location of haulage drifts in stable foot wall rocks. Drivage of development drifts in stronger enclosing rocks will reduce the cost of support and maintenance and will abate the risk of accidents due to the influence of stoping. The main mining system is room-and-pillar mining with reinforcement and dry rock fill. For ore body areas of increased thickness, a variant of slicing with concrete floor construction is offered. The specified stoping design allows mining with minimum loss and dilution.

In general, the recommended technological solutions on extraction of ore reserves underneath permafrost levels at Badran deposit are aimed at improving efficiency of mining in the sever environment of the Extreme North.

**Keywords:** levels under the permafrost, rock strength properties, access scheme, in-stone development, support with reinforcement and dry rock fill, stoping parameters.

**References**

1. Neobutov G. P., Grinev V. G. *Mining of ore deposits using the freezing filling in permafrost conditions : Monograph.* Yakutsk : Yakutsk Science Center of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 1997. 104 p.
2. Petrov A. N., Petrov D. N. Improvement of the technique of ice-rock backfill in permafrost zones. *Gornyy Zhurnal.* 2015. No. 4. pp. 26–28. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.05
3. Neobutov, G. P., Zubkov V. P., Petrov D. N. Assessment of the stability of the outcrop of rock mass in the conditions of underground development of cryolite zone deposits. *Nauchnoe obazrenie.* 2014. No. 8. pp. 941–944.
4. Izakson V. Yu., Grinev V. G., Samokhin A. V., Neobutov G. P., Zubkov V. P., Shkulev S. P. Assessment of geomechanical state of massif during the deposit mining in cryolitic zone. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 1993. No. 3. pp. 26–29.
5. Klishin V. I., Vlasov V. N. Problems of Uderground Mining of Kimberlite Deposits in Permafrost Zone. *Permafrost Engineering: Proceedings of the 5th International Symposium.* Vol. 2. Yakutsk, 2002. pp. 12–15. (in English)
6. Pavlov A. M., Semenov Yu. M., Sosnovskiy L. I. Evaluation of parameters of stable pillars and room

- roofs in underlay lode mining in cryogenic zones in terms of the irokindsky gold deposit. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2014. No. 10. pp. 21–27.
7. Iudin M. M. About the influence of geocryological conditions on the processes of underground mining of ore deposits of the North. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2011. Special issue No. 10. pp. 97–101.
8. Coil D., Lester M., Higman B. Gold Mining Methods. Ground truth trekking. *Gold Mining Methods.* Last Modified: 4th November 2014. Available at: <http://www.groundtruthtrekking.org/Issues/MetalsMining/GoldMiningMethods.html> (accessed: 30.08.2016).
9. Scales M. One of a kind. Lac des iles palladium mine expands. *Canadian Mining Journal.* February/March 2012. pp. 22–24.
10. The Björkdal Mine. Underground mining. *Horn International.* Available at: <http://hornonline.com/the-bjorkdal-mine> (accessed: 30.08.2016).
11. Lizunkin V. M., Matveev A. E. Technology of mining of steeply-falling closely-placed uranium low-yield veins. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2011. No. 9. pp. 91–94.
12. Sokolov I. V., Smirnov A. A., Antipin Yu. G., Baranovskiy K. V. The technology of ascending mining a golden ore deposit employing dry filling. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2015. No. 9. pp. 14–19.
13. Petrov A. N., Nikiforov L. A. Experience of underground mining of gold-antimony deposit Sentachan. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2011. Special issue No. 10. pp. 185–191.
14. Putzmeister SPM 4210 WETKRET and Mixkret 4 Working at Rasvumchorr Underground Mine in Russia. Available at: <http://www.mining-technology.com/contractors/roofing/putzmeister-2/pressputzmeister-rasvumchorr.html> (accessed: 30.08.2016).

УДК 622.234.573

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ НА ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЯХ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ



**В. Ф. РОЧЕВ,**  
доцент, канд. техн. наук,  
Технический институт (филиал)  
Северо-Восточного федерального  
университета им. М. К. Аммосова,  
Нерюнгри, Россия,  
[viktor-rochev74@mail.ru](mailto:viktor-rochev74@mail.ru)

*Дана характеристика россыпных месторождений золота, потенциально пригодных для отработки методом скважинной гидродобычи.*

**Ключевые слова:** скважинная гидродобыча, погребенные россыпи, горно-геологические условия, обводненность, россыпное золото.  
**DOI:** [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.10](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.09.10)

### Введение

Добыча россыпного золота в Южной Якутии осуществляется преимущественно открытым способом, реже — шахтным. Но первый способ сопряжен с отрицательным влиянием на природную среду, а второй отличается высокой трудоемкостью и дороговизной. В качестве альтернативы данным способам все чаще выступает способ гидродобычи (СГД) [1–4]. Россыпные месторождения золота по своим горно-геологическим условиям как раз являются наиболее благоприятными объектами для разработки по способу СГД. Продуктивный пласт в них представлен легко разрушаемыми несвязными или связными породами, талые россыпи золота обычно обводнены, что позволяет применять для подъема песков высокопроизводительное эрлифтное оборудование, покрывающие

породы относятся к III–IV категории буримости, что делает относительно недорогим бурение скважин по этим породам.

В последнее время в Республика Саха (Якутия) выявлены и разведываются все новые погребенные россыпи золота, залегающие на глубине от 40 до 250 м. Содержание в них металла нередко составляет десятки граммов на 1 м<sup>2</sup> пласта, что позволяет относить эти россыпи к весьма перспективным для отработки способом СГД. Запасы золота в них достигают нескольких десятков тонн. На фоне сокращения запасов для отработки открытым способом, больших технических трудностей и значительных затрат при подземной разработке талых погребенных россыпей возрастают перспективы золотодобычи способом СГД. Исходя из вышеизложенного, оценка возможности применения этого спосо-

© Рочев В. Ф., 2016