

## Обзор технологии скважинной гидродобычи для разработки глубокозалегающих, погребенных и обводненных россыпных месторождений

Гевало К. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

*e-mail: gevalokirill@yandex.ru*

### Реферат

**Введение.** В настоящее время значительная часть запасов россыпных месторождений золота на территории Дальнего Востока сосредоточена в недрах глубокозалегающих и погребенных россыпей. Способ скважинной гидродобычи позволяет разрабатывать глубокие и сильнообводненные месторождения с ограниченными запасами, эксплуатация которых открытым или подземным способом экономически нецелесообразна. Добыча полезных ископаемых данным способом основана на превращении разрабатываемой горной массы в гидросмесь на месте залегания путем гидромеханического воздействия и транспортирования ее на поверхность в виде пульпы по трубам.

**Цель работы.** На основе научных открытий и практического опыта российских ученых и производственников обосновать возможность применения способа скважинной гидродобычи при отработке глубокозалегающих погребенных и обводненных россыпных месторождений Дальнего Востока.

**Методы исследования.** В процессе исследования использованы методы систематизации, сравнительного, факторного и системного анализа.

**Результаты.** Проведенный анализ показал, что в Дальневосточном регионе имеются значительные запасы россыпного золота, находящегося в глубокозалегающих и обводненных россыпях, эксплуатация которых в современных условиях является нерентабельной. Предложен способ скважинной гидродобычи, который позволит отрабатывать такие месторождения с низкими эксплуатационными затратами, высокой производительностью, незначительным воздействием на окружающую среду.

**Выводы.** Способ скважинной гидродобычи позволит значительно увеличить объем добычи золота за счет вовлечения в эксплуатацию глубокозалегающих и обводненных россыпных месторождений, отработка которых ранее считалась нерентабельной, при этом существенно снизить себестоимость добычи и уровень капитальных вложений.

**Ключевые слова:** скважинная гидродобыча; россыпное месторождение золота; глубокозалегающие месторождения; технология разработки; обводненные месторождения.

**Введение.** Золотодобывающая промышленность занимает важное место в экономике России. В настоящее время значительная часть запасов россыпных месторождений золота на территории Дальнего Востока сосредоточена в недрах глубокозалегающих и погребенных россыпей. По горно-геологическим условиям россыпные месторождения являются наиболее благоприятными объектами для скважинной гидродобычи: продуктивный пласт в них представлен легкоразрушаемыми, несвязанными или слабосвязанными породами. Талые россыпи обычно обводнены, что позволяет применять для подъема песков высокопроизводительное эрлифтное оборудование. Мерзлые россыпи имеют преимущество устойчивой кровли продуктивного пласта, что позволяет извлекать из скважины значительные объемы песков. Покрывающие породы относятся к III–IV категории буримости, что делает относительно недорогим бурение по этим породам. В по-

следнее время выявлены и разведываются все новые погребенные месторождения золота, залегающие на глубине от 40 до 300 м. Содержание в них металла нередко достигает десятков граммов на кубический метр пласта, что делает эти россыпи весьма перспективными для отработки способом скважинной гидродобычи (СГД). В Хабаровском крае прогнозные ресурсы данных россыпей оцениваются в 285 т [1–5].

На фоне сокращения запасов для отработки открытым и подводным способами и больших технических и технологических трудностей, значительных капиталовложений и эксплуатационных затрат при подземной разработке погребенных россыпей возрастают перспективы золотодобычи способом СГД. В отличие от открытого и подземного способа мобильные комплексы СГД обеспечивают рентабельную добычу даже на небольших по запасам золота погребенных россыпях. Все это говорит об актуальности создания эффективной технологии скважинной гидродобычи полезных ископаемых из россыпных месторождений [6, 7].

**Целью исследования** является обоснование необходимости более полного и эффективного технологического решения по разработке песков россыпных месторождений методом скважинной гидродобычи.

Исходя из цели исследования сформулированы следующие задачи:

- выбор и обоснование системы разработки россыпного месторождения, позволяющей снизить себестоимость продукции и повысить полноту извлечения запасов, в том числе и забалансовых;
- исследование эффективности отработки месторождения в зависимости от выбора оборудования и его параметров;
- оценка снижения техногенной нагрузки на экосистемы.

**Методической основой** исследований послужили разработки В. Ж. Аренса, Н. И. Бабичева и А. С. Хрулева [8–11].

В. Ж. Аренс выделяет три основных варианта систем разработки: сплошная выемка; с оставлением устойчивых целиков различной формы; с закладкой выработанного пространства. Н. И. Бабичевым предложена развернутая классификация систем разработки способом скважинной гидродобычи, в которой для разделения систем на классы принят порядок очистной выемки, определяющий состояние очистного пространства во время его отработки. Классификация систем разработки способом СГД приведена в табл. 1.

Оценка снижения техногенной нагрузки на экологические системы района разработки методом скважинной гидродобычи показала, что по сравнению с открытой системой разработки разница является существенной, а именно:

- отсутствие вскрышных пород позволит сохранить в целостности культурный слой почвы, а при разработке обводненных месторождений в затопленной камере – режим поверхностных и подземных вод;
- процесс рекультивации сводится к ликвидации добычных и разведочных скважин, планировке территории и передаче отведенной под участок земли в народнохозяйственное пользование;
- полностью снимается вопрос вентиляции, который возникает при разработке глубокозалегающих погребенных месторождений открытым способом;
- применение гидравлической закладки отходами обогащения отработанных камер может существенно уменьшить объем хвостохранилищ, которые являются источниками запыленности окружающей среды, а также уменьшить площадь земельных отводов под них.

**Технология скважинной гидродобычи.** Данный способ добычи полезных ископаемых основан на превращении разрабатываемой горной массы в гидросмесь на месте залегания путем гидромеханического воздействия и транспортиро-

вания ее на поверхность в виде пульпы по трубам. Этот способ позволяет разрабатывать глубокие и сильнообводненные месторождения с ограниченными запасами, эксплуатация которых открытым или подземным способом экономически нецелесообразна.

В общем случае технология СГД заключается в следующем [8–14]: после проведения детальной разведки и планировки участка месторождения производится его вскрытие. Оно осуществляется путем бурения добычных скважин диаметром 250–500 мм, обычно до плотика. Далее производятся подготовительные работы,

**Таблица 1. Классификация систем разработки способом СГД**

**Table 1. Classification of field development systems by the method of borehole hydraulic mining**

Номер	Система разработки	Условия
1.	Система разработки с открытым очистным пространством: камерно-столбовые (со сплошной выемкой, потолкоуступные и почвоуступные) и бесцеликовые	При устойчивости покрывающих пород, достаточной для кратковременного обнажения кровли
2.	Система разработки с креплением очистного пространства: с анкерной крепью и с креплением железобетонными столбами	При недостаточной устойчивости руды и налегающих пород. Ценные руды
3.	Система разработки с закладкой очистного пространства: камерно-столбовые (со сплошной выемкой, потолкоуступные, почвоуступные) и бесцеликовые	Так же, как в 1, но при особо ценных рудах или необходимости сохранения поверхности
4.	Система разработки с креплением и закладкой очистного пространства: камерно-столбовые (со сплошной выемкой, потолкоуступные, почвоуступные) и бесцеликовые	Так же, как в 2, но при особых ценных рудах или сохранении поверхности
5.	Система разработки с обрушением руд и вмещающих пород: с самообрушением руды, с подсечкой и самообрушением, с принудительным обрушением, с применением гибкого разделяющего перекрытия	При мощных рудных пластах, неустойчивых налегающих породах и когда допускается проседание поверхности
6.	Система разработки СГД с последующим выщелачиванием металла из руд	При слабосвязанных и связанных рудах, поддающихся выщелачиванию после создания искусственной проницаемости

в результате которых осуществляется подача воды, сжатого воздуха и электроэнергии на добычной полигон. Дезинтегрированные струей воды гидромонитора пески подаются на поверхность в виде гидросмеси и далее гидротранспортируются в приемный бункер обогатительной фабрики или формируют карту намыва для складирования. Отработка тела залежи может осуществляться одиночными камерами с оставлением межскважинных целиков или сплошным забоем в отступающем порядке с управляемой посадкой покрывающих пород. Возможен вариант управления горным давлением путем закладки отработанных камер отходами обогащения или пустыми породами с последующей отработкой межкамерных целиков. После отработки участка производится его рекультивация, которая заключается в ликвидации добычных скважин, уборке и планировке, посадке леса или сеянии трав.

Схема разработки россыпного месторождения методом скважинной гидродобычи приведена на рис. 1.

Опытные работы по скважинной гидродобыче начались в России в середине 1960-х гг. Накоплен значительный опыт в использовании данной технологии при проведении опытно-промышленных и добычных работ; разрабатывались месторождения титан-циркониевых песков Западной Сибири, на Тарской россыпи по-

строен опытно-промышленный комплекс с производительностью до 40 тыс. м<sup>3</sup> в год, добывались фосфориты на Верхнекамском месторождении, золото в Якутии и т. д. [13].

**Анализ и обсуждение.** При разработке глубокозалегающих погребенных россыпей способом скважинной гидродобычи необходимо учитывать их горно-геологические особенности. Наиболее распространенными являются маломощные аллювиальные россыпи, мощность продуктивного слоя которых составляет обычно 40–60 см и он приурочен к контакту с подстилающими коренными

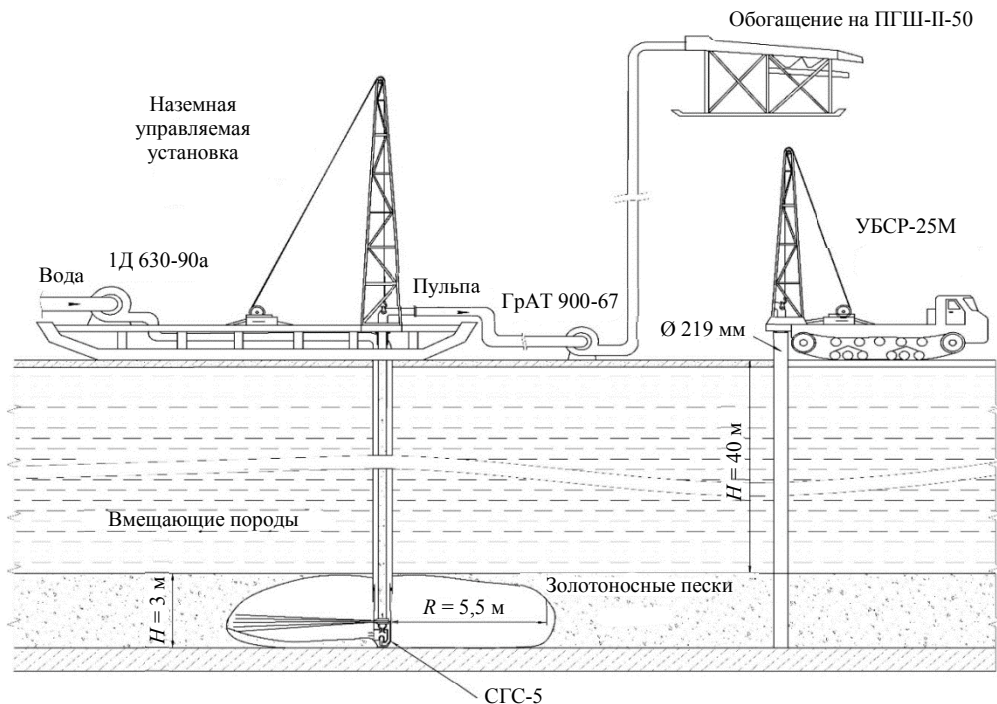


Рис. 1. Схема разработки россыпного месторождения методом скважинной гидродобычи  
Fig. 1. The scheme of developing a placer deposit by the method of borehole hydraulic mining

породами. Средняя мощность продуктивного пласта характерна для средней и нижней части россыпи. Как правило, при образовании таких россыпей не происходило глубокого проникновения золота в подстилающие коренные породы, поэтому данный тип россыпи будет перспективным для отработки способом СГД. Мощные погребенные россыпи безусловно будут наиболее перспективными объектами скважинной гидродобычи, так как их большая мощность обеспечивает необходимый объем добычи из скважин. Глубина залегания погребенных россыпей изменяется от 15 до 300 м. Чем меньше глубина россыпи, тем больше вероятность просадки поверхности в процессе отработки, что определяет выбор системы разработки. Из опыта СГД при глубине более 170 м образования провалов на поверхности не зафиксировано [10].

Преимущества способа СГД:

- низкие капитальные вложения при строительстве участков добычи (до 8 раз меньше, чем при строительстве карьера);
- быстрая окупаемость производства;
- небольшой срок ввода в эксплуатацию;

- высокая производительность и безопасность труда;
- гибкость производства, обусловленная возможностью изменения добычного участка в широких пределах путем изменения количества добычных агрегатов;
- низкое негативное воздействие на окружающую среду.

К недостаткам данного способа можно отнести:

- ограничение использования для месторождений, имеющих большой процент крупных включений (гравия, валунов);
- более высокие потери полезных ископаемых по сравнению с открытым способом из-за несовершенства добычных агрегатов.

**Таблица 2. Распределение капитальных затрат и себестоимости при СГД**

**Table 2. Capital costs and prime costs distribution at borehole hydraulic mining**

Наименование объектов, работ и затрат	Капитальные затраты, %	Себестоимость, %
Подготовка поверхности	7,0	8,0
Бурение скважин	8,0	19,0
Гидродобыча	18,0	41,0
Гидротранспорт	5,0	14,0
Складирование и отгрузка	12,0	18,0
Вспомогательные объекты	35,0	–
Прочие затраты	15,0	–
<i>Итого</i>	100,0	100,0

Технико-экономические показатели метода СГД определяются исходными горнотехническими условиями разработки и принимаемыми техническими и технологическими решениями. К горнотехническим условиям разработки относятся: глубина залегания песков, геометрические параметры пласта песков и положение в пространстве, прочностные характеристики покрывающих пород и продуктивной залежи, гидрогеологические характеристики месторождения и т. д.

Способ СГД, в отличие от традиционных способов открытой разработки полезных ископаемых, позволяет существенно снизить себестоимость добычи и уровень капитальных вложений. Примерные затраты на осуществление добычи методом СГД приведены в табл. 2 [10].

Анализ структуры капитальных затрат на строительство различных объектов предприятия СГД показывает, что из объектов основного производственного назначения наибольшие капиталовложения приходятся на объекты водоснабжения, энергетического хозяйства, карту намыва, скважины и гидродобычные агрегаты.

В себестоимости определяющую роль играют затраты на бурение, электроэнергию и гидротранспорт (суммарно 56 %). Целесообразность применения тех или иных технических и технологических решений при СГД определяется на стадии проектирования при выборе оптимальных технологических параметров.

**Выводы.** Внедрение способа СГД позволит:

- значительно увеличить объем добычи за счет вовлечения в эксплуатацию запасов золота глубокозалегающих россыпных месторождений, отнесенных к забалансовым (для открытой разработки);

- на втором этапе использование комбинированной системы разработки (скважинной гидродобычи совместно с открытым способом отработки месторождения) позволит включить в единый технологический процесс добычу, переработку и рекультивацию нарушенных земель;

– на третьем этапе использование скважинной гидродобычи как основного способа разработки на глубокозалегающих погребенных россыпных месторождениях значительно снизит техногенную нагрузку на экосистемы за счет уменьшения площади отчуждаемых земель под отвалы вскрышных пород и хвосты обогащения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин А. П., Ван-Ван-Е А. П. Атлас основных золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока и их горно-геологические модели. Благовещенск–Хабаровск: ДВО РАН, 2000. 333 с.
2. Litvitsev V., Alexeev V., Kradenykh I. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005
3. Litvitsev V. Rational development of noble metal placer mining waste in the East of Russia // Journal of Mining Science. 2015. No. 51. P. 118–123.
4. Litvitsev V., Sas P. Current State and Main Directions of Innovative Development of Placer Gold Mining in Far East Federal District // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004
5. Мирзеханов Г. С., Литвинцев В. С. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе // Горный журнал. 2018. № 10. С. 25–30.
6. Рочев В. Ф. О возможности применения скважинной гидродобычи на золотоносных россыпях Южной Якутии // Горный журнал. 2016. № 9. С. 50–53.
7. Британ И. В. Состояние скважинной гидродобычи. Кризис или дальновидность? // Недрапользование 21 век. 2013. № 6. С. 46–51.
8. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / В. Ж. Аренс, Г. Х. Хчян [и др.]. М.: Горная книга, 2001. 293 с.
9. Аренс В. Ж., Хчян Г. Х., Хрулев А. С. Скважинная гидродобыча песков с хозяйственным использованием образовавшихся пустот в условиях вечной мерзлоты // Горный журнал. 2013. № 10. С. 79–82.
10. Хрулев А. С. Технология скважинной гидродобычи золота из погребенных многолетнемерзлых россыпей: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. М., 2002. 48 с.
11. Бабичев Н. И., Николаев А. Н. Разработка погребенных россыпей и залежей строительных материалов с использованием скважинной гидродобычи // Гидромеханизация–2000: Тематическое приложение к ГИАБ. М.: МГТУ, 2000. С. 24–29.
12. Ницевич О. А., Цурло Е. Н., Янушенко А. П. Опыт определения объема и формы добычной камеры при скважинной гидродобыче // Горный журнал. 2011. № 2. С. 31–35.
13. Хрулев А. С. Особенности скважинной гидродобычи золотосодержащих песков из мощных глубокозалегающих россыпей. ГИАБ. 2001. № 9. С. 142–145.
14. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / В. Ж. Аренс, Н. И. Бабичев [и др.]. М.: Горная книга, 2007. 291 с.

Поступила в редакцию 7 мая 2019 года

#### Сведения об авторах:

**Гевало Кирилл Васильевич** – аспирант, инженер лаборатории разработки россыпных месторождений Института горного дела ДВО РАН. E-mail: gevalokirill@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-53-59

### The review of the hydraulic borehole mining technology for development of deep-seated buried and watered placer deposits

**Kirill V. Gevalo**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

#### Abstract

**Introduction.** Today, a large part of the placer gold deposits in the Far East is concentrated in the depths of buried and concealed placers. The hydraulic borehole mining method allows to develop deep and heavily watered marginal fields, the exploitation of which by the open-pit or underground methods is economically unsound. Extraction of minerals by the hydraulic borehole mining method is based on transformation of a developed rock mass into a hydraulic mixture in place by hydromechanical impact and its transportation to the surface in the form of a pulp through pipes.

**Research aims.** To justify the possibility of applying the hydraulic borehole mining method in development of deep-seated buried and watered placer deposits of the Far East on the basis of scientific discoveries and practical experience of Russian scientists and manufacturers.

**Research methods.** The methods of systematization, comparative, component and system analysis were used in course of the research.

**Results.** The carried-out analysis testified that there are considerable placer gold deposits in the Russian Far East, which are in buried and watered placers, the exploitation of which under current conditions is unprofitable. The hydraulic borehole mining method, which will allow to develop such fields with low operational costs, high productivity, low environmental impact, is proposed.

**Conclusions.** The hydraulic borehole mining method will allow to significantly increase the gold extraction volume due to involvement of deep-seated and watered placers into exploitation, the development of which was considered to be unprofitable earlier and, along with this, to significantly reduce the extraction cost and capital investment level.

**Key words:** hydraulic borehole mining; placer gold deposits; deep-seated deposits; development technology; watered deposits.

#### REFERENCES

1. Sorokin A. P., Van-Van-E A. P. *Basic gold placer deposits atlas of the southern part of the Far East and their mine-geological models*. Blagoveshchensk–Khabarovsk: FEB RAS Publishing; 2000. (In Russ.)
2. Litvitsev V., Alexeev V., Kradenykh I. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits. *E3S Web of Conferences*. 2018; 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005
3. Litvitsev V. Rational development of noble metal placer mining waste in the East of Russia. *Journal of Mining Science*. 2015; 51: 118–123.
4. Litvitsev V., Sas P. Current State and Main Directions of Innovative Development of Placer Gold Mining in Far East Federal District. *E3S Web of Conferences*. 2018; 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004
5. Mirzekhanov G. S., Litvitsev V. S. Mining waste management at precious metal placers in the Russian Far East: State-of-the-art and problems. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 10: 25–30. (In Russ.)
6. Rochev V. F. On the possibility of applying hydraulic borehole mining at gold bearing placer deposits of South Yakutia. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2016; 9: 50–53. (In Russ.)
7. Britan I. V. The state of hydraulic mining by boreholes. The crisis of the idea or short-sightedness? *Nedropolzovanie 21 vek = Subsoil use 21st century*. 2013; 6: 46–51. (In Russ.)
8. Arens V. Zh., Khcheian G. Kh., Khrulev A. S. *Borehole hydraulic mineral extraction*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2001. (In Russ.)
9. Arens V. Zh., Khcheian G. Kh., Khrulev A. S. Borehole hydraulic mining of sands with the practical use of cavings in the conditions of permafrost. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2013; 10: 79–82. (In Russ.)
10. Khrulev A. S. *Technology of borehole hydraulic mining of gold from concealed permafrost placers: DSc in Engineering abstract of dissertation*. Moscow; 2002. (In Russ.)
11. Babichev N. I., Nikolaev A. N. Deep placers and construction materials development with the use of borehole hydraulic mining. *Hydromechanisation–2000: Specialist supplement to Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. Moscow: MSMU Publishing; 2000: 24–29.
12. Nitsevich O. A., Tsurlo E. N., Ianushenko A. P. The experience of volume and form definition of excavated breast during down hole hydroextraction. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2011; 2: 31–35. (In Russ.)
13. Khrulev A. S. Features of borehole hydraulic mining of gold bearing sands from thick deep-seated placers. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2001; 9: 142–145. (In Russ.)
14. Arens V. Zh., Babichev N. I., Bashkatov A. D. *Borehole hydraulic mineral extraction*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2007. (In Russ.)

Received 7 May 2019

#### Information about authors:

**Kirill V. Gevalo** – PhD student, engineer, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: gevalokirill@yandex.ru

**Для цитирования:** Гевало К. В. Обзор технологии скважинной гидродобычи для разработки глубокозалегающих, погребенных и обводненных россыпных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 53–59. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-53-59

**For citation:** Gevalo K. V. The review of the hydraulic borehole mining technology for development of deep-seated buried and watered placer deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 7: 53–59 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-53-59