УДК 622:624.1

В.В. Киселев, Ю.А. Хохолов, М.В. Каймонов

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ И КРЕПЛЕНИЯ ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА РОССЫПНЫХ ШАХТ КРИОЛИТОЗОНЫ

Выявлены предпосылки для развертывания масштабных работ по повторной разработке ранее считавшихся некондиционными участков за пределами отработанных шахтных полей и оставшихся целиков в раннее отработанных россыпных шахтах. Подчеркнута необходимость разработки концепции отработки таких неординарных месторождений, рациональных способов их повторной отработки и предоставления финансовых преференций золотодобывающим предприятиям. Возможно строительство новых шахт для разработки подобных месторождений. Предложено два способа возведения искусственных ледопородных целиков. Приведено описание их организационной и технологической реализации. Возможно решение ряда задач экологического плана: освобождение земной поверхности от имеющихся отвалов прежней золотодобычи, восстановление прежних ландшафтов и рельефа местности; обеспечение замкнутого цикла обращения твердых геоматериалов, находящихся в техногенных песках; восстановление целостности техногенно нарушенного горного массива.

Ключевые слова: глубокопогребенные остаточно-целиковые мерзлые россыпные месторождения, криолитозона, россыпная шахта, золотодобыча, вторичная отработка, очистное пространство, горные выработки, геоматериалы, отвалы.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-49-58

Как известно, в современном мире золото считается эквивалентом богатства и процветания страны, главной функцией которого является обеспечение стратегического золото-валютного резерва. Восполнение его является одной из важнейших задач горнодобывающих предприятий, в том числе Дальневосточного региона РФ, где на первый план выходит решение глобальной проблемы-опережающего освоения недр в связи с истощением запасов минерального сырья в промышленно освоенных регионах РФ [1—4].

При этом в перспективе в этом направлении основной упор ставится на создание крупных горнодобывающих кластеров федерального уровня, которые будут иметь важное социально-экономическое и геополитическое значение, позволят наряду с увеличением объемов золотодобычи восполнить сырьевую базу, обеспечить минерально-сырьевой ресурс для будущих поколений.

На Северо-Востоке региона, в частности, планируется создать кластер в Яно-Колымской провинции, включающий 4 района Магаданской области и 4 улуса

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 5. С. 49–58.
© В.В. Киселев, Ю.А. Хохолов, М.В. Каймонов. 2018.

РС(Я), в которой расположено порядка 14 рудных месторождений золота с суммарными запасами 3000 т. В целом, реализация проектов золотодобычи по расчетам экономистов позволит добывать с 2018 г. по 2050 г. до 125 т золота в год [5]. Кроме этого, необходимо отметить, что в этой провинции имеются так же значительные запасы золотосодержащих россыпей, в том числе техногенных, которые так же подлежат освоению.

Немаловажное значение, по нашему мнению, может иметь, в частности, так же попутная добыча монацита и кулярита содержащихся в аллювиальных отложениях куларского золото-россыпного узла, а так же циркона в алданских россыпях, в связи с резким повышением спроса на редкоземельные элементы.

По статистическим данным за прошедшие 70 лет в Дальневосточном регионе из россыпей было добыто 2900 т золота и 150 т из рудных месторождений. По мнению ученых, золотоносные перспективы региона, включая вышеупомянутую провинцию высоки, несмотря на слабую геологическую изученность громадных территорий. В то же время подчеркивается, что реализация ряда проектов потребует привлечения громадных средств и предоставления финансовых преференций недропользователям на период разведки и освоения золотосодержащих месторождений.

Негативными факторами, как правило присущими всем северным территориям, усложняющими ведение всех видов разведочных и добычных работ является высокая энергодефицитность, удаленность от центров добычи энергоресурсов, отсутствие круглогодичных транспортных коммуникаций, аэропортов, поселков и т.д.

В связи с этим, в ближайшей перспективе на первый план выносится вторичное освоение ранее отработанных относительно легкодоступных, так называемых техногенных или остаточно-целиковых россыпных месторождений на территориях традиционной золотодобычи.

В настоящее время в Дальневосточном регионе отрабатываются как рудные, так и россыпные, большей частью техногенные золотосодержащие месторождения, причем более 50% добываемого золота — рудное. В то же время, по оценкам ученых ИГД ДВО РАН, потенциал россыпной золотодобычи далеко не исчерпан и из года в год происходит его рост [5]. Этому в значительной степени способствует внедрение эффективных способов и технологий этого института по разработке талых техногенных и природно-техногенных россыпей открытым способом, а так же их обогащению в особенности в Хабаровском крае и Амурской области.

Такая же тенденция, хотя и в меньших масштабах наблюдается и в Республике Саха (Якутия), где в связи с истощением сырьевой базы первичных россыпных месторождений признано рациональным наряду с доработкой целиковых россыпей наращивание запасов золотосодержащего сырья за счет вовлечения флангов и бортов ранее отработанных (мерзлых) россыпей на ее территории, для обеспечения планируемых объемов золотодобычи [6, 7]. Такие запасы могут быть отнесены, как уже говорилось, к техногенным или к остаточно-целиковым месторождениям.

В то же время ресурсный потенциал в частности, глубокопогребенных остаточно-целиковых (мерзлых) россыпных месторождений полностью не оценен. Есть основание утверждать, что в течение 40 лет подземной золотодобычи в криолитозоне в прошлом веке богатые, крупные глубокопогребенные россыпные (целиковые), а так же ряд техногенных месторождений освоены, но за границами ранее отработанных шахтных полей остались участки с высоким по

современным кондициям содержанием металла, отработка которых в настоящее время может быть рентабельной. К тому же в ряде случаев ранее были отработаны только наиболее богатые участки глубокопогребенных месторождений, а те на которых содержание «не отошло» остались нетронутыми.

В этом плане привлекательны так же целики с высоким содержанием металла ранее оставленные для поддержания выработанного пространства в отработанных россыпных шахтах (РШ) применявщих камерно-лавную систему отработки, где потери (в целиках) доходили до 15%.

Таким образом, по нашему мнению, техногенные остаточно-целиковые глубокопогребенные мерзлые россыпные месторождения, находящиеся в пределах ранее отработанных площадей условно могут быть разделены на два типа:

- в виде оставленных целиков (вероятнее всего раздавленных) и бортовых прирезок в ранее отработанных, неисключено затопленных, а затем заполненных льдом РШ;
- в виде отдельных участков с некондиционным «по старым меркам» содержанием металлов как в пределах границ, так и за границами отработанных шахтным полей, ранее не вовлекавшихся в разработку.

Необходимо отметить, что стратегия освоения и отработки таких месторождений не разработаны. По нашему мнению, несмотря на наличие мощной землеройной техники вряд ли может быть рентабельной разработка большинства из них открытым способом, в первую очередь из-за большого объема вскрышных работ.

Так же нет полной уверенности, например, в возможности и рациональности применения способов добычи золотосодержащих песков выбуриванием и гидроразмывом, а так же комбинированным открыто-подземным способом. Так что подземный способ их разработки может быть единственно возможным и превуалирующим, несмотря на сложность и нерешенность целого ряда разноплановых вопросов.

Можно предположить, что не полностью отработанные россыпи со значительными запасами могут быть привлекательны для крупных компаний и разрабатываться высокомеханизированными безцеликовыми и безвзрывными способами с использованием комбайнов и механизированных крепей [8, 9].

В то же время самые мелкие, в том числе и техногенные могут отрабатываться небольшими сезонными РШ с относительно простыми технологиями отработки не требующими больших капитальных вложений и наличия высококвалифицированного персонала, как это, в частности, практикуется на Аляске, где подземные горные работы ведутся только в зимний период с использованием простого переносного оборудования, а в летнее время производится промывка добытых песков, зачастую членами одной или нескольких семей состоявших в родстве [10—13].

В то же время рыночные условия с постоянными колебаниями спроса и цен на металлы, необходимость соблюдения очень жестких в сравнении с «былыми временами» экологических стандартов и условий природопользования и т.д. диктует повышенные требования к отработке таких неординарных, труднодоступных месторождений с обеспечением рентабельности и минимальных негативных воздействий на окружающую среду.

Естественно предположить, что при разработке концепции освоения и отработки таких месторождений должны привлекаться различные учреждения, в том числе горного профиля и производится с максимальным использованием

ранее накопленного опыта, а так же наработок ряда институтов прежде всего ВНИИ-1, ИРГИредмет, ИГД и ИГДС СО РАН, СВФУ, внесших в свое время значительный вклад в разработку и совершенствование технологий подземной отработки мерзлых россыпей.

При этом, в целях снижения затрат связанных со строительством новых РШ и последующей отработке песков необходимо так же ориентироваться на максимальное использование местных материалов и естественных (природных) ресурсов криолитозоны.

Для разработки техногенных месторождений 1-го типа ИГДС СО РАН разработано несколько запатентованных способов [14], отражающих в общих чертах рекомендуемые технологические схемы ведения подземных горных работ без проработки отдельных деталей, которые, к сожалению, не апробированы на практике. По нашему мнению, они могут быть при соответствующей адаптации реализованы, что в определенной степени подтверждают исследования проведенные на математических моделях.

При освоении и разработке месторождений 2-го типа, на первом этапе, могут использоваться уже существующие технологии строительства РШ и подземной золотодобычи [15] сезонной (только в зимний период), которые в дальнейшем могут быть усовершенствованы и модернизированы исходя из современных тенденций научно-технического прогресса в горном деле, наличия передовых технологий, сложившихся реалий и т.д.

Не касаясь всех вопросов вторичной подземной отработки подобных месторождений 2-го типа разрабатываемых камерно-лавными системами с использованием переносного оборудования, одним из самых важных из них, в первую очередь с позиций обеспечения безопасности, является управление горным давлением и, в частности, крепление выработанного пространства РШ в сложных, как уже говорилось ранее, социально-экономических условиях горных предприятий Севера — дороговизны и трудности доставки заводских типов крепей, отсутствием материалов и местной базы для их изготовления, острого дефицита крепежного леса, в особенности в тундровых областях и т.д.

В этих условиях, наиболее предпочтительно, по нашему мнению, использование в качестве крепи искусственных ледопородных целиков, обладающих высокими компрессионными характеристиками, не требующих дорогостоящего оборудования, квалифицированного персонала и дефицитных материалов для изготовления с сравнительно простой прошедшей апробацию технологией возведения [16].

В качестве породного геоматериала могут быть использованы находящиеся в речных долинах отвалы вскрышных пород, а так же галечные отвалы прежней (первичной) золотопереработки.

При этом, появится возможность последующей отработки временно оставляемых естественных целиков в РШ, исключая тем самым потери песков. Кроме этого, одновременно будет так же решено ряд экологических вопросов, в частности, освобождение ландшафтов от отвалов с обеспечением неразрывности земной поверхности над отрабатываемым шахтным полем и частичным восстановлением прежнего рельефа. При этом, учитывая большое количество отвалов в речных долинах в местах прежней золотодобычи все выработанное пространство отработанной РШ может быть заполнено галечным материалом, выполняющим функции сыпучей закладки с обеспечением в значительной степени целостности техногенно нарушенного горного массива [14].

Основываясь на имеющемся опыте россыпной подземной золотодобычи, од-

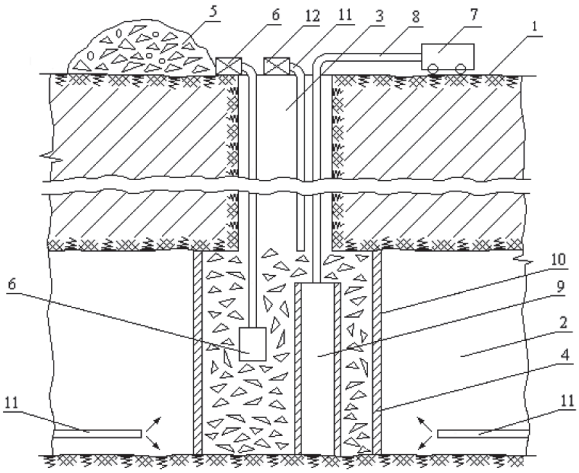

Рис. 1. Способ возведения искусственных тумбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны: 1 — земная поверхность; 2 — отработанная очистная камера; 3 — сквозная вертикальная скважина; 4 — передвижная опалубка; 5 — складированный щебенисто-галечный материал; 6 — вибрационная установка; 7 — парогенераторная установка; 8 — паропровод; 9 — перфорированная труба; 10 — уплотненная щебенисто-галечная смесь; 11 — вентиляционный став; 12 — нагнетательный вентилятор

Fig. 1. Way of construction of artificial postlike tselik in loose mines of a kriolitozona: 1 — terrestrial surface; 2 — the fulfilled clearing chamber; 3 — through vertical well; 4 — mobile timbering; 5 — the stored shchebenisto-pebble material; 6 — vibration installation; 7 — steam generating installation; 8 — steam line; 9 — the punched pipe; 10 — the condensed shchebenisto-pebble mix; 11 — ventilating having become; 12 — delivery fan

ним из самых важных вопросов является обеспечение высоких скоростей возведения и прочностных характеристик ледопородных сооружений (искусственных целиков), во многом определяющих безопасность и интенсивность продвигания фронта очистных работ в РШ сокращая тем самым сроки отработки шахтных полей с достижением высоких технико-экономических показателей.

В этих целях ИГДС СО РАН разработаны два способа возведения тумбообразных ледопородных целиков (рис. 1 и рис. 2) в РШ, на которые получены патенты РФ [17, 18]. Технологии их возведения во многом схожи, предполагают ведение работ в отработанных и закрепленных временной крепью очистных камерах в зимний период с использованием имеющихся, как уже говорилось, отвалов геоматериалов прошлых лет и естественного (природного) ресурса криолитозоны — холода как атмосферного, так и аккумулированного горными породами для ускоренного промораживания сооружений в период возведения и по их окончании.

Оба способа включают, с началом ведения очистных работ в вновь построенной РШ, предварительное бурение с поверхности над отработанной и закрепленной временной крепью очистной камерой скважины большого диаметра (500—600 мм), по которой с поверхности засыпается геоматериал вперемешку с снегом и колотым льдом в заранее сооруженную по землей передвижную опалубку требуемых размеров.

В целях ускорения процессов возведения и повышения компрессионных характеристик ледопородных целиков, при первом способе (рис. 1) предлагается кратковременный прогрев утрамбованной ледопородной смеси находя-

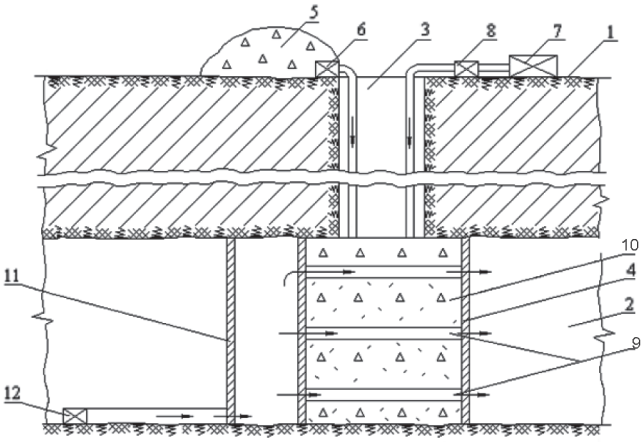

Рис. 2. Способ возведения комбинированных металло-ледопородных столбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны: 1 — земная поверхность; 2 — отработанная очистная камера РШ; 3 — сквозная вертикальная скважина; 4 — передвижная опалубка; 5 — складированный песчано-галечный геоматериал; 6 — поверхностная вентиляторная нагнетательная установка с гибким трубопроводом; 7 — теплоизолированная емкость для технической воды; 8 — водоподающая установка с насосом, трубопроводом и разбрызгивающим устройством; 9 — горизонтально-уложенные металлические трубы; 10 — возведенный металло-ледопородный целик; 11 — герметичный изоляционный экран; 12 — шахтная (подземная) нагнетательная установка с вентилятором и гибким воздуховодом

Fig. 2. Way of construction combined the stolboobraznykh of tselik in dews-sypnykh mines of a kriolitozona threw-lo-ledoporodnykh: 1 — terrestrial surface; 2 — fulfilled RSh clearing camera; 3 — through vertical well; 4 — mobile tim-bering; 5 — stored sand-and-shingle geomaterial; 6 — superficial ventilatory delivery installation with the flexible pipeline; 7 — heatisolated capacity for technical water; 8 — the water giving installation with the pump, the pipeline and the spraying device; 9 — the horizontally laid metal pipes; 10 — built metallo-leopardy pillar; 11 — tight insulating screen; 12 — mine (underground) delivery installation with the fan and a flexible air duct

щейся в опалубке перегретым паром подаваемым под большим давлением парогенераторной установкой, способствуя тем самым активному образованию на поверхностях породных кусков пленочного водяного конденсата и в то же время, не допуская их оттайки по всему объему. Таким образом, после прекращения подачи пара образовавшийся пленочный водяной конденсат будет быстро замерзать за счет холода аккумулированного мерзлыми породными отдельностями с образованием (наряду с замерзшей снеговой водой) цементирующих ледяных связок между ними, которые затем упрочняются с понижением температуры при обдуве возведенного целика холодным атмосферным воздухом нагнетаемым вентилятором.

При втором способе (рис. 2), в качестве упрочняющих армирующих элементов и дополнительных вентиляционных каналов предлагается послойная горизонтальная укладка по высоте возводимого тумбообразного целика водоводных металлических труб (∅200 мм) выработавших технический ресурс в изобилии скопившиеся в золотодобывающих регионах и загрязняющих окружающую среду, по которым впоследствии так же будет нагнетаться холодный атмосферный воздух, интенсифицируя тем самым процесс промораживания и, как следствие этого, скорость возведения комбинированного металлоледопородного сооружения.

После возведения и промораживания искусственных целиков обоих типов,

в очистном пространстве убирается временная крепь и производится отработка естественных целиков с последующим заполнением, как уже говорилось ранее, всего выработанного пространства РШ предварительно увлажненным геоматериалом имеющихся галечных отвалов выполняющим функции закладки.

Проведенными исследованиями на математических моделях определены основные технологические параметры возводимых ледопородных целиков способом послойного намораживания.

В частности выявлено, что оптимальная толщина единичного слоя должна находиться в пределах 0,4÷0,6 м, при расходе воды 200—400 л/м^3, а так же оптимальные режимы вентиляции (проморозки) атмосферным воздухом, обеспечивающие высокие скорости строительства.

На рис. 3 представлены графики расчета 4-х вариантов возведения, иллюстрирующие продолжительности промораживания ледопородного целика в зависимости от начальной температуры слоя и температуры проморозки при начальном влагосодержании 25%, где 1 — начальная температура слоя $t_{нач}$ = +5 °С, температура проморозки слоя льдопородного целика $t_{мор}$ = –5 °С; 2 — $t_{нач}$ = +5 °С, $t_{мор}$ = –3 °С; 3 — $t_{нач}$ = 0 °С, $t_{мор}$ = –5 °С; 4 — $t_{нач}$ = 0 °С, $t_{мор}$ = –3 °С.

Проведенные расчеты показывают (рис. 3), что для эффективного промораживания единичного ледопородного слоя температура шахтного воздуха $t_{возд}$ должна быть не выше минус 15 °С. При этом для его полного промерзания требуется в среднем не менее 3-х суток при начальной температуре слоя +5 °С и не менее 1,5 суток при начальной температуре слоя 0 °С.

При выполнении этих условий полное промораживание ледопородного целика высотой 5 м до температуры –5 °С произойдет в течение одного-полутора месяцев. Причем большая часть времени затрачивается на проморозку последнего (верхнего) слоя, который промерзает в основном за счет аккумулированного холода в потолочине очистной выработки (лавы). Для ускорения его проморозки рекомендуется проведение специальных мероприятий для аккумуляция холода (повышенного потенциала) в кровле и предпоследнем слое льдопородного целика.

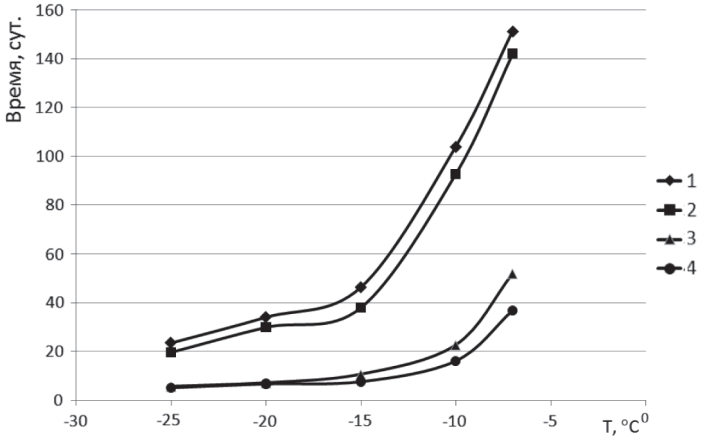

Рис. 3. Продолжительность промораживания ледопородного целика в зависимости от начальной температуры слоя и температуры проморозки, при начальном влагосодержании 25%

Fig. 3. Duration of freezing of the ice-bottomed whole, depending on its initial moisture content, the temperature of the bed and the required freezing temperature

Выбор вариантов технологических операций возведения рекомендуемых целиков определяется технико-экономическими расчетами исходя из уровня оснащенности горных предприятий, климатических и местных условий.

По нашему мнению, внедрение предлагаемых способов подземной золотодобычи и крепления выработанного пространства РШ в северо-восточных регионах ДФО позволит обеспечить:

• повышенную скорость возведения искусственных целиков с высокой несущей способностью, а так же продвигания фронта очистных работ;

• снижение расходов на поддержание выработанного пространства РШ за счет использования легкодоступных местных материалов;

• предотвращение деформаций земной поверхности над отработанным шахтным полем;

• освобождение земной поверхности от отвалов прошлых лет и, как следствие этого, восстановление сплошности техногенно нарушенного горного массива, прежнего рельефа и ландшафта местности;

• рециклинг твердых геоматериалов продуктивного пласта разрабатываемого месторождения за счет укладки хвостов промывки песков в выработанное пространство РШ;

• высокую безопасность ведения очистных работ;

• значительное снижение потерь, сокращение сроков отработки шахтных полей и снижение себестоимости добываемого полезного ископаемого.

К этому можно добавить, что на модернизированных промывочных приборах используемых для промывки подземных песков могут быть так же вторично переработаны имеющиеся многократно выветрелые, легкопромывистые галеэфельные отвалы прежней (первичной) золотодобычи, что позволит получить дополнительный металл, при сравнительно низких затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цукерман В.А.* О своевременной парадигме недропользования в регионах Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 8. — С. 171—175.

2. *Козловский Е.А.* Дальний Восток — наше достояние? // Маркшейдерия и недропользование. — 2007. — № 3. — С. 3—12.

3. *Михайлов Б.К., Вартанян С.С., Аристов В.В. и др.* Минерально-сырьевые основы новых горнорудных центров Российской Федерации. [Разд.] Золото. Оценка ситуации // Отечественная геология. — 2007. — № 3. — С. 14—28.

4. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В., Прошляков А.Н.* Геотехнологическая парадигма развития комплексного освоения недр в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 3 (19). — С. 54—65.

5. *Литвинцев В.С.* О ресурсном потенциале техногенных золоторассыпных месторождений // ФТРПИ. — 2013. — № 1. — С. 118—126.

6. *Ефимов А.П.* Проблемы недропользования / Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых. Добыча золота в условиях Крайнего Севера: материалы республиканской науч.-практ. конф. посвящ. 90-летию золотодобывающей промышленности РС(Я). — Якутск, 2014. — С. 5—12.

7. *Ковлеков И.И.* Техногенное золото Якутии. — М.: Изд-во МГГУ, 2002. — 303 с.

8. *Никольский А.М., Ордин А.А., Курилко А.С., Клишин В.И., Кулаков В.Н.* Бесцеликовая технология подземной разработки россыпных залежей Якутии. — Новосибирск: Наука, 2014. — 276 с.

9. *Марков В.С., Лабутин В.Н., Елшин В.К.* Безвзрывная рахработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 176 с.

10. *Шерстов В.А. и др.* Золотодобывающая промышленность Аляски. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992 — 44 с.

11. *Athey J.E.*, *Werdon M.B.*, Twelker E., *Henning M.W.* Alaska's Mineral Industry 2015. AK: Alaska Division of Geological & Geophysical Survey, Fairbanks, 2016. 57 p.
12. Modern Day Placer Mining in Yukon. URL: http://www.emr.gov.yk.ca/mining/pdf/modern_placer_mining.pdf (дата обращения 21.02.2018)
13. *Skudzzyk F.I.*, *Barker I.C.*, *Walsh D.E.*, MacDonald R. Applicability of Siberian placer mining technology to Alaska; Final Report for the Alaska Science and Technology Foundation MIRL, Report № 89 University of Alaska Fairbanks, 1991. 77 p.
14. *Киселев В.В.*, *Хохолов Ю.А.* Перспективные способы вторичной подземной разработки глубокопогребенных остаточно-целиковых россыпных месторождений криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 30. — С. 173—184.
15. *Шерстов В.А.* Подземная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений. — Якутск: Якутский госуниверситет, ИГДС СО РАН, 2002. — 124 с.
16. *Сальманов Р.Н.*, *Красных С.Н.* Разработка россыпных месторождений с применением замораживаемого закладочного материала // Колыма. — 1987. — № 7. — С. 10—13.
17. *Патент* РФ № 2474695. Способ возведения искусственных тумбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны.
18. *Патент* РФ № 2601704. Способ возведения искусственных столбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Киселев Валерий Васильевич[1] — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: gtf@igds.ysn.ru,
Хохолов Юрий Аркадьевич[1] — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: khokholov@igds.ysn.ru,
Каймонов Михаил Васильевич[1] — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: gtf@igds.ysn.ru,
[1] Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 5, pp. 49–58.

V.V. Kiselev, Yu.A. Khokholov, M.V. Kaimonov

PREFERRED TRENDS IN UNDERGROUND GOLD PLACER MINING AND MINE SUPPORT IN PERMAFROST ZONE

The article gives the grounds for the increase in gold resources in the short term in the Far East Region of Russia by means of starting development of frozen buried residual placers in the north-eastern areas of earlier gold production for the purpose of replenishment of gold and foreign exchange reserves of the country. The background for large-scale re-extraction of gold-bearing minerals from previously assumed noncommercial sites beyond the limits of mined-out fields and from remnant pillars in abandoned placer mines is revealed. It is emphasized that re-extraction of such specific reserves require a special concept and efficient mining technologies, and the engaged mining companies need financial preferences to be granted. In the meanwhile, construction of new mines to develop such deposits is as likely as not in view of a number of reasons. Aiming to handle the most important issue of placer mine support, two methods of making artificial frozen rock pillars are proposed and their implementation is comprehensively described. The article highlights the opportunity to meet some environmental challenges through removal of previous gold mining waste from the ground surface, recovery of the past landscape and relief, organization of a complete cycle of hard geomaterials contained in waste and tailings, and synthesis of continuity in mining-disturbed subsoil.

Key words: deep-buried residual frozen placer blocks, permafrost zone, placer mine, gold production, re-extraction, stoping zone, underground excavations, geomaterials, waste dumps.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-49-58

AUTHORS

Kiselev V.V.[1], Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, e-mail: gtf@igds.ysn.ru,
Khokholov Yu.A.[1], Doctor of Technical Sciences,
Leading Researcher, e-mail: khokholov@igds.ysn.ru,
Kaimonov M.V.[1], Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, e-mail: gtf@igds.ysn.ru,
[1] Chersky Mining Institute of the North,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
677000, Yakutsk, Russia.

REFERENCES

1. Tsukerman V.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 8, pp. 171—175.

2. Kozlovskiy E.A. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2007, no 3, pp. 3—12.

3. Mikhaylov B.K., Vartanyan S.S., Aristov V.V. *Otechestvennaya geologiya*. 2007, no 3, pp. 14—28.

4. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P., Kalabin G.V., Proshlyakov A.N. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2015, no 3 (19), pp. 54—65.

5. Litvintsev V.S. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no 1, pp. 118—126.

6. Efimov A.P. *Puti resheniya aktual'nykh problem dobychi i pererabotki poleznykh iskopaemykh. Dobycha zolota v usloviyakh Kraynego Severa: materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu zolotodobyvayushchey promyshlennosti RS(Ya)* (Ways to Handle Urgent Issues in Mineral Mining and Processing. Gold Production in the Far North: Proceedings of the Republican Scientific–Practical Conference devoted to the 90-th anniversary of the gold mining industry in the Republic of Sakha (Yakutia)), Yakutsk, 2014, pp. 5—12.

7. Kovlekov I.I. *Tekhnogennoe zoloto Yakutii* (Yakutia's gold mining waste), Moscow, Izd-vo MGGU, 2002, 303 p.

8. Nikol'skiy A.M., Ordin A.A., Kurilko A.S., Klishin V.I., Kulakov V.N. *Bestselikovaya tekhnologiya podzemnoy razrabotki rossypnykh zalezhey Yakutii* (Continuous underground gold placer mining in Yakutia), Novosibirsk, Nauka, 2014, 276 p.

9. Markov V.S., Labutin V.N., Elshin V.K. *Bezvzryvnaya rakhrabotka mnogoletnemerzlykh rossypnykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom* (Non-explosive method of underground mining of permafrost placers), Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2014, 176 p.

10. Sherstov V.A. *Zolotodobyvayushchaya promyshlennost' Alyaski* (Gold mining industry in Alaska), Yakutsk, YaNTs SO RAN, 1992, 44 p.

11. Athey J.E., Werdon M.B., Twelker E., Henning M.W. *Alaska's Mineral Industry 2015*. AK: Alaska Division of Geological & Geophysical Survey, Fairbanks, 2016. 57 p.

12. *Modern Day Placer Mining in Yukon*. URL: http://www.emr.gov.yk.ca/mining/pdf/modern_placer_mining.pdf (accessed 21.02.2018)

13. Skudzzyk F.I., Barker I.C., Walsh D.E., MacDonald R. A*pplicability of Siberian placer mining technology to Alaska*; Final Report for the Alaska Science and Technology Foundation MIRL, Report № 89 University of Alaska Fairbanks, 1991. 77 p.

14. Kiselev V.V., Khokholov Yu.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, Special edition 30, pp. 173—184.

15. Sherstov V.A. *Podzemnaya razrabotka mnogoletnemerzlykh rossypnykh mestorozhdeniy* (Underground placer mining in permafrost), Yakutsk, Yakutskiy gosuniversitet, IGDS SO RAN, 2002, 124 p.

16. Sal'manov R.N., Krasnykh S.N. *Kolyma*. 1987, no 7, pp. 10—13.

17. *Patent RU 2474695*.

18. *Patent RU 2601704*.