

В.В. Киселев, М.В. Каймонов, В.И. Попов

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА В РОССЫПНЫХ ШАХТАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Аннотация. Рассмотрены вопросы возобновления ресурсов золотодобывающих месторождений Дальневосточного региона РФ, за счет вовлечения в народно-хозяйственный оборот мерзлых глубокопогребенных остаточно-целиковых россыпных месторождений Севера-Востока на территориях прежней золотодобычи в целях пополнения золотовалютного резерва страны. Предложен новый экогеотехнологический, комбинированный способ разработки остаточно-целиковых и техногенных россыпных месторождений, которым предусматривается двухэтапная отработка каждого шахтного поля в течение двух лет, с ведением горных работ в зимний, а промывке добытых песков и подземному кучному выщелачиванию золота в летний период. Подчеркивается, что при этом возможно так же 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: россыпная шахта, золотодобыча, вторичная отработка, выщелачивание, криолитозона.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-177-184

Одним из приоритетных направлений реализации государственной программы социально-экономического развития РФ является ускоренное освоение Дальневосточного региона (ДФО) в том числе его северных и арктических областей, где планируется создать Яно-Колымский кластер. ДФО обладает громадными природными ресурсами включая золото, составляющее значительную все возрастающую год от года долю в общероссийской добыче и к тому же является одной из крупнейших золотодобывающих провинций в мире, где 50% запасов рудного и россыпного металла сосредоточено в Магаданской области и Республике Саха (Якутия) (РС(Я)), в которых потенциал роста золотодобычи существенно сдерживается неразвитостью инфраструктуры, отсутствием дешевой электроэнергетики,

сложными горно-геологическими и суровыми климатическими условиями с наличием многолетней мерзлоты [1–10].

Вместе с тем, несмотря на зафиксированное в последние годы незначительное увеличение объемов золотодобычи в основном из легкодоступных талых техногенных россыпей открытым способом по субъектам ДФО, специалистами прогнозируется общий тренд снижения ее в среднесрочной перспективе по целому ряду причин.

В связи с этим заслуживают внимания мерзлые техногенные в том числе глубокопогребенные россыпи северных регионов ДФО не подвергавшиеся вторичной отработке ранее ненарушенные добычей, рентабельная разработка которых возможна только подземным способом.

Необходимо отметить, что наиболее богатые участки крупных мерзлых глубокопогребенных россыпных месторождений (РМ) были отработаны шахтным способом в этих регионах в 70-ых годах прошлого века. Кроме этого, впоследствии так же осуществлялась частичная добыча песков ранее неизвлеченных запасов россыпных шахт (РШ), включая оставленные целики различных типов с богатым содержанием металла [7].

Существует мнение, что потенциал старопромысловых регионов россыпной золотодобычи включая криолитозону полностью не исчерпан и увеличить его по заключению специалистов возможно путем поиска альтернативных источников минерального сырья к которым относятся различные золотосодержащие техногенные комплексы, сформированные в предыдущие годы [2, 3].

К ним в старопромысловых регионах криолитозоны могут быть отнесены, по нашему мнению, как протяженные остаточно-целиковые РМ находящиеся за границами ранее отработанных шахтных полей с невысоким содержанием металла, различные типы целиков, в том числе ранее отработанных РШ (околоствольные, околоштрековые, барьерные, охранные, межпанельные, междукамерные) потери металла в которых варьировали от 2 до 10% [3]. Кроме этого, довольно значительное количество золота может быть извлечено из приплотиковых песков, недоработанных участков шахтных полей и очистных камер ранее отработанных РШ, бортовых и фланговых «прирезок». Неисключено так же его наличие в отвалах торфов открытых разработок, пород проходки вскрывающих подземных горных выработок строящихся РШ. Кроме этого, определенное количество металла в тонкодисперсной трудноизвлекаемой форме может находиться в глинистых окатышах в многочисленных гале-эфельных отвалах находящихся на

поверхности и не затронутых вторичной переработкой, которые так же относятся к техногенным минеральным комплексам или как их еще называют, вторичным источникам природных ресурсов и объектам недропользования [2, 3].

К сожалению, концепция повторного освоения всех вышеперечисленных золотосодержащих объектов недропользования старопромысловых районов криолитозоны Яно-Колымского кластера до сих пор не разработана, хотя необходимость в ней назрела и не вызывает сомнений.

Специалистами подчеркивается, что выявление, оценка и разработка многих типов вышеперечисленных подземных техногенных запасов требует разработки специальной методики их разведки и рациональных технологий безопасной отработки учитывая степень нарушенности объектов в процессе первичной отработки РМ. Ненарушенные протяженные остаточно-целиковые РМ могут осваиваться и отрабатываться, по нашему мнению, традиционными способами с использованием как буровзрывных технологий, так и передовых базирующихся на применении комбайнов, механизированных крепей и оборонных проходческих комплексов [6—9]. В зависимости от объемов запасов РМ их отработка может осуществляться как крупными, так и небольшими в том числе малыми предприятиями по образцу и подобию Северо-Канадских и в особенности Аляскинских, где в частности, например в 2013 г., 300 небольших РШ с невысокой численностью работников (до 6 чел.) произвели 100 000 унций золота [4, 5].

ИГДС СО РАН разработано несколько способов повторной отработки мерзлых техногенных (остаточно-целиковых) глубокопогребенных золотороссыпных месторождений и целиков на которые получены патенты РФ, но непрошедших апробацию [11—13]. В то же время про-

веденные исследования на математических моделях подтверждают, в частности, возможность реализации одного из них [14]. Кроме этого, институтом были разработаны способы крепления очистного пространства РШ искусственными ледопородными целиками нескольких типов позволяющие вести безопасную подземную отработку техногенных РМ представленными целиками и недоработанными запасами ранее отработанных РШ [15–18].

Одним из перспективных путей решения этой проблемы является извлечение золота методом кучного выщелачивания, который характеризуется высокой эффективностью и низкими капитальными затратами [19–21]. Основной сдерживающий фактор применения этого способа в регионах Крайнего Севера заключается в том, что эффективность процесса выщелачивания золотосодержащих руд любого типа в значительной степени зависит от температурных условий рудного штабеля и выщелачивающего раствора, что в свою очередь обуславливает сезонность (только в летние месяцы) работы золотодобывающих предприятий использующих эту технологию [22].

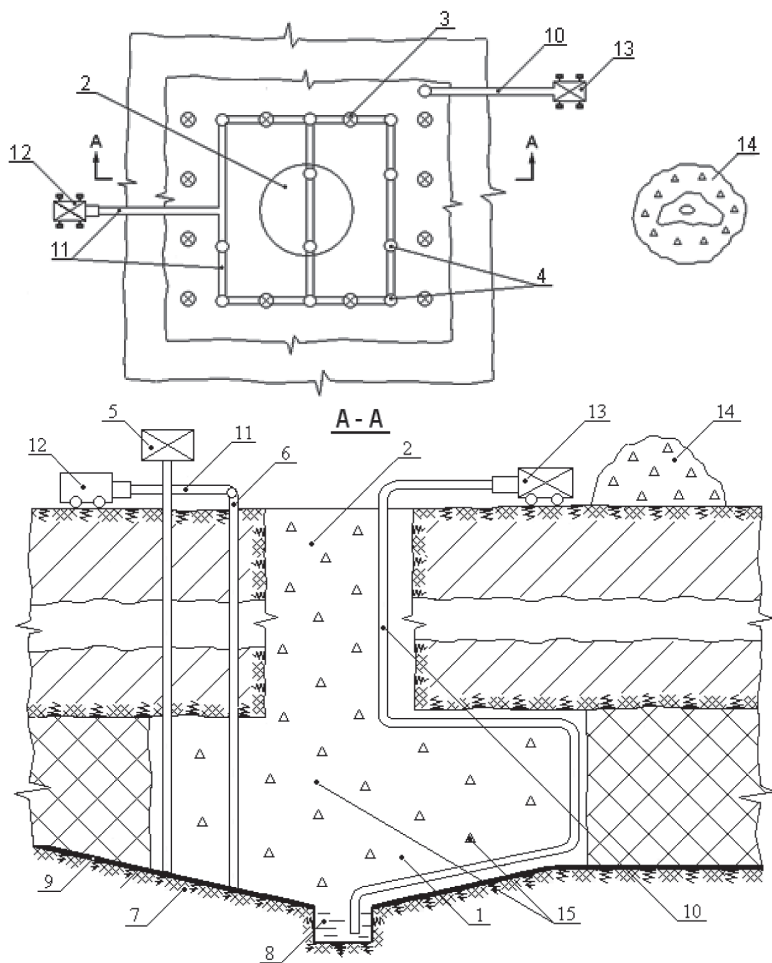
По нашему мнению, обеспечение рентабельности повторного освоения и подземной разработки вышеописанных остаточно-целиковых РМ Севера можно добиться, наряду с выполнением общепринятых мероприятий, разработкой и внедрением нестандартных подходов и способов получения дополнительного металла, в частности, из имеющихся гале-эфельных отвалов первичной золотодобычи кучным выщелачиванием в подземных условиях в отработанных очистных камерах РШ с их последующим использованием в качестве закладочного материала. Необходимо отметить, что в настоящее время технологии кучного выщелачивания рудного и россыпного

золота в жестких климатических условиях разработаны и апробированы [22]. При этом можно добиться высокой скорости и полноты выщелачивания, т.к. металл в отвалах, как правило, находится в несвязанной (в том числе ртутью), тонкодисперсной легко растворимой форме.

В этих целях, с учетом вышеперечисленных обстоятельств, ИГДС СО РАН разработан новый в определенной степени экогеотехнологический и комбинированный способ вторичной разработки остаточно-целиковых месторождений и техногенных РМ в виде гале-эфельных отвалов, представленный на рисунке, которым предусматривается двухэтапная отработка каждого шахтного поля в течение двух лет, с ведением горных работ в зимний, а промывке добытых песков и кучному выщелачиванию золота в летний периоды.

В первый год (1-ый этап) в зимний период на разрабатываемом РМ ведутся работы по строительству РШ, проходятся вскрышные, подготовительные и нарезные выработки. Затем обрабатывается продуктивный пласт песков камерной системой прямым ходом с оставлением целиков как традиционными, так и более совершенными способами и технологиями [7–9]. Отработанные очистные камеры огораживаются перемычками, крепятся временной крепью, теплоизолируются и гидроизолируются. Днищу каждой камеры придают чашеобразную форму и укладывают гидрозашитный мат, проходят зумпф для сбора продуктивного раствора, прокладывают гибкий трубопровод для подачи выщелачивающего раствора (рисунок).

В процессе ведения очистных работ в РШ с поверхности в центре каждой отработанной камеры пробуривают сквозную скважину большого диаметра (500–600 мм) для загрузки золотосодержащего гале-эфельного геоматериала первичной золотодобычи. Кроме этого, пробу-



Экогеотехнологический способ вторичной подземной отработки остаточно-целиковых золотороссыпных месторождений криолитозоны: 1 — отработанная очистная камера РШ; 2 — загрузочная скважина вертикальная сквозная (Ø500–600 мм); 3 — вертикальные сквозные обсаженные скважины для установки тепловых труб; 4 — вертикальные сквозные скважины для установки перфорированных труб для подачи выщелачивающего раствора; 5 — тепловые трубы для оттайки штабеля; 6 — перфорированные трубы для подачи выщелачивающего раствора; 7 — днище отработанной камеры; 8 — зумпф для сбора продуктивного раствора; 9 — гидрозащитный мат; 10 — гибкий трубопровод для транспортировки продуктивного раствора на поверхность; 11 — поверхностный трубопроводный контур для подачи выщелачивающего раствора; 12 — передвижная емкость с выщелачивающим раствором; 13 — передвижная емкость для хранения продуктивного раствора; 14 — золотосодержащий геоматериал гале-эфельных отвалов первичной золотодобычи; 15 — выложенный под землей штабель из золотосодержащего геоматериала гале-эфельных отвалов подлежащего кучному выщелачиванию

Ecogeotechnological method of secondary underground mining of residual-integral gold-sulphide deposits of cryolithozone: 1 — spent purification chamber RS; 2 — feed through vertical well (Ø500-600 mm); 3 — vertical through cased wells for installing heat pipes; 4 — vertical through-holes for the installation of perforated pipes for feeding the leach solution; 5 — heat pipes for defrosting the stack; 6 — perforated pipes for feeding the leach solution; 7 — bottom of the spent chamber; 8 — sump for collecting the productive solution; 9 — hydroprotective mat; 10 — flexible pipeline for transporting the productive solution to the surface; 11 — surface piping circuit for feeding the leach solution; 12 — mobile container with leach solution; 13 — mobile container for storage of productive solution; 14 — gold-bearing geomaterial of gale-efel dumps of primary gold mining; 15 — laid under the ground pile of gold-bearing geomaterial of gale-efel dumps to be heap leach

ривается нужное количество сквозных скважин малого диаметра (100 мм) для установки тепловых труб и нагнетания выщелачивающего раствора.

На поверхности сооружается трубопроводный контур для подачи выщелачивающего реагента, устанавливаются передвижные емкости для размещения выщелачивающего и продуктивного растворов (рисунок). Возле каждой загрузочной скважины складировать золотосодержащий гале-эфельный геоматериал первичной золотодобычи подлежащий кучному выщелачиванию.

На летний период РШ временно консервируется и работы по кучному выщелачиванию в это время (наряду с промывкой добытых песков на промприборах) выполняются в следующей последовательности. Золотосодержащий геоматериал загружают погрузчиками в загрузочную скважину с заполнением отработанной, подготовленной камеры (из которой предварительно убирают временную крепь) на полный объем, с уплотнением вибраторами с образованием подземного штабеля, который одновременно выполняет функции закладочного массива поддерживая выработанное пространство. Затем в штабель с поверхности через скважины вставляют тепловые трубы с помощью которых производят оттайку геоматериала атмосферным теплом до положительных температур. После этого так же через скважины с поверхности внедряют перфорированные трубы и начинают подачу выщелачивающего раствора находящегося в передвижной емкости с использованием поверхностного трубопроводного контура (рисунок). Фильтрующийся золотосодержащий раствор по гидрозащитному мату, уложенному на дне камеры самотеком стекает в зумпф, откуда по трубопроводу его откачивают в передвижную емкость и отправляют на дальнейшую переработку.

На следующий год (2-ой этап) в зимний период в расконсервированной РШ производится отработка ранее оставленных целиков обратным ходом. В образуемом выработанном пространстве, а так же на поверхности производятся все вышеперечисленные операции 1-го этапа. Погашаемые горные выработки закладывают мерзлым вскрышным и галечным предварительно увлажненным геоматериалом. Может быть так же рекомендовано проведение технических мероприятий по принудительной проморожке имеющихся отработанных штабелей атмосферным холодом, повышающих компрессионные характеристики возводимых искусственных целиков и закладочных массивов.

В летнее время в том же порядке выполняются все те же вышеописанные работы первого этапа, включая загрузку золотосодержащего геоматериала как первичной так и вторичной золотодобычи, формирование штабелей, их прогрев, пропитку, выщелачивание золота, откачку продуктивного раствора. Отработанная РШ ликвидируется в соответствии с существующими требованиями, а затем строится новая и таким образом обрабатываются остаточные-целиковые участки по всей речной долине РМ. Одновременно, для обеспечения рентабельности повторного освоения, как уже говорилось должны обрабатываться недоработанные запасы старых РШ и ранее оставленные целики различных типов, с закладкой выработанного пространства галечным и вскрышным геоматериалом.

Внедрение предлагаемой схемы освоения и повторной отработки вышеперечисленных объектов техногенных комплексов, в том числе мерзлых глубокопогребенных остаточных-целиковых золотороссыпных месторождений с подземным выщелачиванием металла из золотосодержащих геоматериалов отвалов, по нашему мнению будет способствовать:

- введению в народнохозяйственный оборот техногенных золотосодержащих минеральных комплексов Яно-Колымского кластера ДФО, включая ряд остаточного-целиковых месторождений Севера с невысоким содержанием металла, в том числе находящихся за пределами ранее отработанных шахтных полей;
- отработке недоработанных запасов старых РШ и различных целиков с высоким содержанием золота;
- получению дополнительного металла для пополнения золотовалютного резерва страны, в том числе за счет переработки техногенных песков и галле-эфельных отвалов;
- освобождению земной поверхности от существующих и вновь образуемых отвалов вторичной разработки и переработки золотосодержащих песков;
- обеспечению поточности и эффективности подземной золотодобычи, за счет совмещения операций по кучному выщелачиванию и закладке выработанного пространства РШ;
- предотвращению деформаций земной поверхности над отработанными шахтными полями;
- получению дополнительной прибыли горнодобывающими предприятиями Севера;
- предотвращению попадания высокотоксичных веществ в биоту;
- восстановлению прежнего рельефа местности;
- обеспечению рециклинга твердых геоматериалов продуктивного пласта песков отрабатываемого РМ;
- снижению затрат на крепление выработанного пространства РШ, в том числе за счет многократного использования временной крепи;
- обеспечению занятости трудоспособного населения северных регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Прус Ю. В. Проблемы и перспективы освоения техногенного комплекса Северо-Востока России // Разведка и охрана Недр. — 2016. — № 4. — С. 43—48.
3. Рассказов И. Ю. и др. Приоритетные направления освоения техногенных комплексов рудно-россыпных месторождений // Недропользование XXI век. — 2016. — № 1. — С. 46—55.
4. Ельченко Е. Л., Соловьев В. О., Шведов И. М. Перспективы использования переносных взрывореактивных комплексов в разработке золоторудных месторождений Дальневосточного региона // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 10. — С. 214—218.
5. Шерстов В. А. и др. Золотодобывающая промышленность Аляски. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992 — 44 с.
6. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. — М.: Изд-во МГГУ, 2002. — 303 с.
7. Марков В. С., Лабутин В. Н., Елшин В. К. Безвзрывная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 176 с.
8. Шерстов В. А. и др. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. — Якутск: Кн. Изд-во, 1981. — 180 с.
9. Шорохов С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. — М.: Недра, 1973. — 768 с.
10. Емельянов В. И., Мамаев Ю. А., Кудлай Е. Д. Подземная разработка многолетнемерзлых россыпей. — М.: Недра, 1982. — 239 с.
11. Киселев В. В., Хохолов Ю. А. Патент РФ № 2428567. Экогеотехнологический способ повторной подземной разработки техногенных россыпей.
12. Киселев В. В., Хохолов Ю. А. Патент РФ № 2452858. Подземный способ разработки техногенных глубокопогребенных россыпных месторождений криолитозоны.
13. Хохолов Ю. А., Киселев В. В., Каймонов М. В., Курилко А. С. Патент РФ № 2436958. Способ разработки целиков отработанных россыпных шахт криолитозоны.

14. Киселев В. В., Хохолов Ю. А. Способ повторной подземной разработки природно-техногенных россыпных месторождений Северо-Востока / Труды второй Всероссийской научно-практической конференции посвященной памяти чл.-кор. РАН М. Д. Новопашина, Якутск, 2013 г. — Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2014. — С. 137—144.

15. Каймонов М. В., Киселев В. В. Патент РФ № 2601704. Способ возведения искусственных столбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны.

16. Киселев В. В., Хохолов Ю. А. Патент РФ № 2474695. Способ возведения искусственных тумбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны.

17. Киселев В. В., Хохолов Ю. А., Каймонов М. В. Рациональные способы крепления очистного пространства золотороссыпных шахт криолитозоны / Материалы VI Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых. Хабаровск, 2017 г. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. — С. 35—40.

18. Киселев В. В., Хохолов Ю. А., Каймонов М. В. Приоритетные направления подземной золотодобычи и крепления очистного пространства россыпных шахт криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 5. — С. 49—58.

19. Esmkhani R., Ghobadi B., Amirkhani A., Rezadust S. The effect of increasing capacity on gold recovery and optimization of cyanidation parameters in Aghdarreh gold ore plant // Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2013, no. 7(2), pp. 702—708.

20. Konyratbekova S. S., Baikonurova A., Akcil A. Non-cyanide leaching processes in gold hydrometallurgy and iodine-iodine applications // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2015, no. 36, pp. 198—212.

21. Bellec S., Hodouin D., Khaledi M. R., Duchesne C. Modelling and simulation of gold ore leaching // World Gold Conference 2009. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2009, pp. 51—59.

22. Татауров С. Б. Оценка россыпного золотосодержащего сырья криолитозоны для обоснования комбинированной геотехнологии кучного выщелачивания золота // Записки горного института. — 2010. — Т. 189. — С. 154—161. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Киселев Валерий Васильевич¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Каймонов Михаил Васильевич¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Попов Владимир Иванович¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: popov.gtf@mail.ru,

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, e-mail: gtf@igds.ysn.ru.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 12, pp. 177—184.

Promising trends in in-situ leaching in gold placer mines in permafrost region

Kiselev V.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: gtf@igds.ysn.ru, Kaimonov M.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: gtf@igds.ysn.ru, Popov V.I.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: popov.gtf@mail.ru,

¹ Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677000, Yakutsk, Russia.

Abstract. The discussion focuses on replenishment of gold resources in the Far East of Russia by means of commercial use of frozen, deep-buried remaining blocks in earlier mined placer deposits in the north-eastern territory, which will allow resupplying the gold and foreign exchange reserves of the country. The article proposes a new combined eco-geotechnology for residual gold ore blocks and placer mining waste by way of two-stage development of each mine field within two years, with mining in winter and sand washing and in-situ heap leaching in summer. It is emphasized that this approach allows solving some ecological problems: removal of old waste dumps from ground surface, recovery of the former landscape and relief, closed cycle of solid geomaterials in waste, and rehabilitation of mining-damaged rock mass.

Key words: Placer mine, gold production, secondary mining, leaching, permafrost region.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-177-184

REFERENCES

1. Trubetsky K. N., Galchenko Yu. P., Kalabin G. V., Proshlyakov A. N. Geotekhnologicheskaya paradigma razvitiya kompleksnogo osvoeniya nedr v Arkticheskoy zone Rossii [Geotechnological paradigm of advancement in the integrated subsoil management in the Russian Arctic], *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2015, no 3 (19), pp. 54–65. [In Russ].
2. Prus Yu. V. Problemy i perspektivy osvoeniya tekhnogennogo kompleksa Severo-Vostoka Rossii [Mining industry waste management in northeastern Russia: Problems and prospects], *Razvedka i okhrana nedr*. 2016, no 4, pp. 43–48. [In Russ].
3. Rasskazov I. Yu. Prioritetnye napravleniya osvoeniya tekhnogennykh kompleksov rudno-rossypanykh mestorozhdeniy [Priority trends in management of placer mining waste], *Nedropol'zovanie XXI vek*. 2016, no 1, pp. 46–55. [In Russ].
4. El'chenko E. L., Solov'ev V. O., Shvedov I. M. Perspektivy ispol'zovaniya perenosnykh vzryvoreaktivnykh kompleksov v razrabotke zolotorudnykh mestorozhdeniy Dal'nevostochnogo regiona [Prospects for using movable explosive reactive systems in gold ore mining in the Far East of Russia], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 10, pp. 214–218. [In Russ].
5. Sherstov V. A. *Zolotodobyvayushchaya promyshlennost' Alyaski* [Gold mining industry in Alaska], Yakutsk, YaNTS SO RAN, 1992, 44 p.
6. Kovlekov I. I. *Tekhnogennoe zoloto Yakutii* [Mining waste gold in Yakutia], Moscow, Izd-vo MGU, 2002, 303 p.
7. Markov V. S., Labutin V. N., Elshin V. K. *Bezvzryvnaya rakhrobotka mnogoletnemerzlykh rossypanykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom* [Blast-free underground mining of placers in permafrost], Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2014, 176 p.
8. Sherstov V. A. *Podzemnaya razrabotka rossypanykh mestorozhdeniy Yakutii* [Underground placer mining in Yakutia], Yakutsk, Kn. Izd-vo, 1981, 180 p.
9. Shorokhov S. M. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya razrabotki rossypanykh mestorozhdeniy* [Technology and full mechanization of placer mining], Moscow, Nedra, 1973, 768 p.
10. Emel'yanov V. I., Mamaev Yu. A., Kudlay E. D. *Podzemnaya razrabotka mnogoletnemerzlykh rossypey* [Underground mining of placers in permafrost], Moscow, Nedra, 1982, 239 p.
11. Kiselev V. V., Khokholov Yu. A. *Patent RU 2428567*.
12. Kiselev V. V., Khokholov Yu. A. *Patent RU 2452858*.
13. Khokholov Yu. A., Khokholov Yu. A., Kaymonov M. V., Kurilko A. S. *Patent RU 2436958*.
14. Kiselev V. V., Khokholov Yu. A. *Sposob povtornoy podzemnoy razrabotki prirodno-tekhnogennykh rossypanykh mestorozhdeniy Severo-Vostoka* [Method for secondary underground mining of natural placers and placer mining waste in the North-East of Russia]. *Trudy vtoroy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy pamyati chl-kor. RAN M. D. Novopashina, Yakutsk, 2013 g.* Yakutsk: Izd-vo IMZ SO RAN, 2014, pp. 137–144. [In Russ].
15. Kaymonov M. V., Kiselev V. V. *Patent RU 2601704*.
16. Kiselev V. V., Khokholov Yu. A. *Patent RU 2474695*.
17. Kiselev V. V., Khokholov Yu. A., Kaymonov M. V. *Ratsional'nye sposoby krepleniya ochistnogo prostranstva zolotorossypanykh shakht kriolitozony* [Efficient ground support of stoping zone in gold placer mines in permafrost region], *Materialy VI Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh. Khabarovsk, 2017*. Khabarovsk, IGD DVO RAN, 2017, pp. 35–40. [In Russ].
18. Kiselev V. V., Khokholov Yu. A., Kaymonov M. V. *Prioritetnye napravleniya podzemnoy zolotodobychi i krepleniya ochistnogo prostranstva rossypanykh shakht kriolitozony* [Priority trends of development in underground mining and stoping zone support in gold placer mines in permafrost region], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 5, pp. 49–58. [In Russ].
19. Esmkhani R., Ghobadi B., Amirkhani A., Rezadust S. The effect of increasing capacity on gold recovery and optimization of cyanidation parameters in Aghdarreh gold ore plant, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2013, no. 7(2), pp. 702–708.
20. Konyratbekova S. S., Baikonurova A., Akcil A. Non-cyanide leaching processes in gold hydrometallurgy and Iodine-Iodine applications, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2015, no. 36, pp. 198–212.
21. Bellec S., Hodouin D., Khalesi M. R., Duchesne C. Modelling and simulation of gold ore leaching], World Gold Conference 2009. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2009, pp. 51–59.
22. Tataurov S. B. *Otsenka rossypnogo zolotosoderzhashchego syr'ya kriolitozony dlya obosnovaniya kombinirovannoy geotekhnologii kuchnogo vyschelachivaniya zolota* [Evaluation of gold-bearing reserves in permafrost placers for the combined heap leaching geotechnology substantiation], *Zapiski gornogo instituta*. 2010. Vol. 189, pp. 154–161. [In Russ].