

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.271

DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-1-24-31



КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

Чебан А.Ю., Секисов А.Г.

Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия

Аннотация. Актуальность и цель исследования. Россыпные месторождения золота преимущественно имеют сложную структуру с значительной изменчивостью содержания полезного компонента и крупности золотин в песках продуктивного пласта, в связи с чем их разработка с применением традиционных технологий переработки, ориентированных на преимущественно гравобогатимое золото с крупностью более 0,5 мм, приводит к большим потерям металла. Известные технологии разработки глубокозалегающих россыпей не ориентированы на селективную выемку песков с различным уровнем содержания и крупностью золота, поэтому не обеспечивают возможности гибкого изменения технологических схем, режимов и параметров переработки разнокачественной минеральной массы. Необходимым условием применения селективной выемки песков и их отдельной переработки является выявление точных контуров богатых зон с золотом повышенной крупности для их опережающей выемки. **Цель работы.** Совершенствование технологии комбинированной разработки сложноструктурных россыпных месторождений золота путем оконтуривания зон богатых песков, подбора комплекса оборудования для обеспечения их качественной опережающей выемки, отработки зон рядовых и бедных песков с применением технологии скважинного выщелачивания. **Результаты.** В статье предлагается усовершенствованная технология разработки, заключающаяся в выявлении зон богатых песков с последующим уточнением их контуров, опережающей механической выемки богатых песков, содержащих существенное количество относительно крупного золота, посредством выемочного модуля, с доработкой оставшейся части богатых песков с применением скважинной гидродобычи, а рядовых и бедных участков – с использованием скважинного выщелачивания. Выемочный модуль устанавливается на штангу буровой установки и включает в себя режущие элементы, тяги, гидропривод, бадью. Извлеченные на поверхность богатые пески направляются на многостадийное обогащение. Оставшийся основной объем залежи обрабатывается с применением скважинного выщелачивания растворами с адаптивными концентрациями, обеспечивающими относительно высокое извлечение золота в продуктивный раствор. **Выводы.** Применение предлагаемой комбинированной технологии позволит существенно сократить технологические потери и увеличить извлечение металла из песков сложноструктурных глубокозалегающих россыпей при одновременном снижении удельной себестоимости добычи золота.

Ключевые слова: продуктивный пласт, богатые пески, гравобогатимое золото, «тонкое» золото, выемочный модуль, механическая выемка, скважинная гидродобыча, скважинное выщелачивание

© Чебан А.Ю., Секисов А.Г., 2023

Для цитирования

Чебан А.Ю., Секисов А.Г. Комбинированная технология разработки сложноструктурных глубокозалегающих россыпей золота // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №1. С. 24-31. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-1-24-31>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

COMBINED TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF COMPLEX STRUCTURE DEEP GOLD PLACERS

Cheban A.Yu., Sekisov A.G.

Mining Institute of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). Alluvial gold deposits mainly have a complex structure with a significant variability in the content of the useful component and the size of gold grains in sands of the producing formation, and, therefore, their development, using conventional processing technologies focused predominantly on gold recovered by gravity with a size of over 0.5 mm, leads to large losses of gold. The known technologies for the development of deep-seated placers are not focused on the selective extraction of sands with different levels of gold content and size; therefore, they do not provide the possibility of flexible changes in process flow charts, modes and parameters of processing the mineral mass, which is not uniform in its quality. A necessary condition for the use of the selective extraction of sands and their separate processing is the identification of the exact contours of rich zones, containing gold of a higher size, for their prior extraction. **Objective.** The research is aimed at improving the technology for the combined development of complex-structural alluvial gold deposits by delineating rich sand zones, selecting a set of equipment to ensure their high-quality prior extraction, mining of ordinary and poor sand zones using in-situ leaching technology. **Results.** The paper proposes an improved development technology, which consists in identifying zones of rich sands and subsequent refinement of their contours, prior mechanical extraction of rich sands, containing a significant amount of relatively coarse gold using an extraction module, with the extraction of the rest of the rich sands using hydraulic borehole mining, and ordinary and poor areas using in-situ leaching. The extraction module is installed on the stem of the drilling rig and includes cutting elements, rods, a hydraulic drive, and a bucket. The rich sands extracted to the surface are supplied for multi-stage enrichment. The remaining main volume of the deposit is mined using in-situ leaching solutions with adaptive concentrations that provide a relatively high recovery of gold into the product solution. **Conclusions.** The use of the proposed combined technology will significantly reduce technological losses and increase the extraction of gold from the sands of complex-structured deep-seated placers, while reducing the unit cost of gold mining.

Keywords: producing formation, rich sands, gold recovered by gravity, fine-grained gold, extraction module, mechanical extraction, hydraulic borehole mining, in-situ leaching

For citation

Cheban A.Yu., Sekisov A.G. Combined Technology for the Development of Complex Structure Deep Gold Placers. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 1, pp. 24-31. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-1-24-31>

Введение

Освоение россыпных месторождений золота в сравнении с рудными требует значительно меньших капитальных и эксплуатационных затрат на добычу и переработку минерального сырья, в связи с чем в отработку могут вовлекаться пески, содержание золота в которых в несколько раз меньше, чем в рудах [1-4]. Несмотря на существенный рост объемов добычи золота из рудных месторождений, в России в 2018-2021 гг. на россыпных месторождениях добывалось около 26-29% металла, при этом в таких крупных золотодобывающих регионах, как Магаданская и Амурская области, республика Саха (Якутия), доля россыпного золота в общей добыче существенно превышала 30% [5]. По причине истощения минерально-сырьевой базы россыпных месторождений золота недропользователи вы-

нуждены работать во все более сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, заключающихся в увеличении глубины залегания продуктивных пластов и усложнении их границ, а также уменьшении содержания и крупности золота в песках [6-8]. В настоящее время в связи с применением все более мощного горнодобывающего оборудования и комплексной механизации производственных процессов глубина открытой разработки россыпей постепенно возрастает, что предопределяет значительное увеличение объема вскрышных работ и оказывает существенное отрицательное влияние на окружающую среду [9-12].

Состояние вопроса и постановка проблемы

Перспективы роста добычи россыпного золота в значительной степени связаны с освоением запасов глубокозалегающих россыпей, разра-

ботка которых ведется подземным способом, а также с применением скважинного выщелачивания или скважинной гидродобычи. Реализация подземного способа добычи требует больших капитальных вложений и целесообразна при освоении богатых песков, залегающих в благоприятных для подземной разработки условиях. Необходимо отметить, что в отдельных, особо богатых зонах продуктивного пласта содержание золота может достигать от нескольких десятков до нескольких сотен г/м³ [13, 14]. Однако нужно учитывать, что для россыпей характерна неоднородность горно-геологических условий отработки: значительное изменение мощности продуктивного пласта и содержания металла; усложнение морфологии пласта; уменьшение крупности золотин и связанный с этим рост потерь металла при промывке; увеличение объемов перерабатываемой горной массы на единицу извлекаемого металла. В связи с этим подземным способом осуществляется разработка преимущественно песков с высоким содержанием полезного компонента из достаточно мощных продуктивных пластов, в то же время извлекать таким способом пески, имеющие рядовые и низкие содержания золота, малоэффективно и экономически нецелесообразно.

Уменьшить эксплуатационные и капитальные затраты, обеспечить возможность рентабельной отработки небольших глубокозалегающих россыпей или их отдельных участков позволяют технологии скважинной добычи. Технология скважинной гидродобычи включает вскрытие продуктивного пласта гидромониторными и гидроэлеваторными скважинами, гидроразрыв и подъем песков в виде пульпы через скважины на дневную поверхность и далее к промывочному прибору [12, 15]. Недостатком скважинной гидродобычи являются существенные технологические потери металла в недрах, при этом потери существенно возрастают в случае наличия в песках большого количества крупного золота и самородков, которые не в полной мере поднимаются гидропотоком. В ряде случаев при разработке россыпей, запасы которых в значительной степени представлены мелким, «тонким» и дисперсным золотом, применение традиционных технологий является нерентабельным по причине больших потерь металла при промывке [16-18]. Перспективным направлением освоения подобных россыпей является применение технологии скважинного выщелачивания, включающей бурение закачных и откачных скважин, подачу раствора в продуктивный пласт, вы-

щелачивание металла, содержащегося в песках, откачку и переработку продуктивного раствора [17]. Существенным недостатком скважинного выщелачивания является неполное растворение крупных золотин размером более 1-1,5 мм, а также золотин невысокой пробыности (менее 0,800).

Повышения эффективности разработки глубокозалегающих сложноструктурных россыпей за счет сокращения трудоемкости и себестоимости работ, а также повышения извлечения металла из недр возможно достичь путем применения комбинированных технологий. Так, в работе [10] предлагается способ освоения россыпей, позволяющий снизить объем перемещаемой горной массы, заключающийся во вскрытии продуктивного пласта разрезной траншеей с размещением в ней гидроэлеватора и пульпопровода, а также в проходке установкой направленного горизонтального бурения пионерной скважины с поверхности через продуктивный пласт к дну разрезной траншеи. После расширения скважины посредством обратного бурения в ней размещается гидромонитор и трубопровод для подачи воды с дневной поверхности. Размытые гидромонитором при отступающей выемке пески продуктивного пласта в потоке пульпы стекают по днищу формируемой выработки в зумпф, расположенный в разрезной траншее, откуда пульпа гидроэлеватором транспортируется по пульпопроводу на поверхность к промывочным приборам. Известны комбинированные технологии отработки россыпей, совмещающие скважинную гидродобычу и скважинное выщелачивание [15, 19], при этом скважинному выщелачиванию подвергаются участки продуктивного пласта с песками, содержащими преимущественно мелкое, «тонкое» и дисперсное золото, а посредством скважинной гидродобычи ведется подъем песков, содержащих преимущественно гравобогатимое золото. Недостатком способов [10, 15, 19] являются существенные потери металла при гидроразрыве и подъеме богатых песков, содержащих крупное золото и самородки.

Необходимо отметить, что в связи с неравномерностью сосредоточения запасов сложноструктурных пластов в относительно небольших объемах песков может находиться существенная часть золота. Так, исследования [12] показали, что на одном из участков Куранахского золотороссыпного месторождения в 1,9% объема песков содержится 19% металла. В связи с этим может быть целесообразной опережающая локальная механическая выемка наиболее богатых песков. В работе [20] предлагается способ разра-

ботки россыпей, заключающийся в расширении шнеком на всю глубину скважин, выявивших в ходе эксплуатационной разведки зоны богатых песков, содержащих крупное самородное золото, с последующим дополнительным расширением данных скважин специальным цилиндрическим ковшом на уровне залегания продуктивного пласта с локальной выемкой богатых песков, их подъемом на поверхность и подачей на промывку, а также обработку оставшихся песков продуктивного пласта с применением технологии скважинного выщелачивания. Недостатками данной технологии являются отсутствие уточненных данных по контурам зон богатых песков, оставление существенной части богатых песков в недрах, невозможность вести выемку богатых песков из неровностей и трещин плотика, существенные потери металла из-за неполного растворения относительно крупных золотинок, содержащихся в рядовых песках и оставшейся в недрах части богатых песков.

Целью данного исследования является совершенствование технологии комбинированной раз-

работки сложноструктурных глубокозалегающих россыпных месторождений золота путем уточнения контуров зон богатых песков, подбора комплекса оборудования для обеспечения их качественной опережающей выемки, отработки зон рядовых и бедных песков с применением технологии скважинного выщелачивания растворами с адаптивными концентрациями, обеспечивающими относительно высокое извлечение золота.

Результаты исследования

В Институте горного дела ДВО РАН разработана комбинированная технология освоения сложноструктурных глубокозалегающих россыпей, обеспечивающая повышение точности оконтуривания и увеличение полноты извлечения золота из недр. В ходе эксплуатационной разведки глубокозалегающего продуктивного пласта 1 осуществляется бурение разведочных скважин с заглублением в плотик с выявлением зон богатых, рядовых и бедных песков (рис. 1).

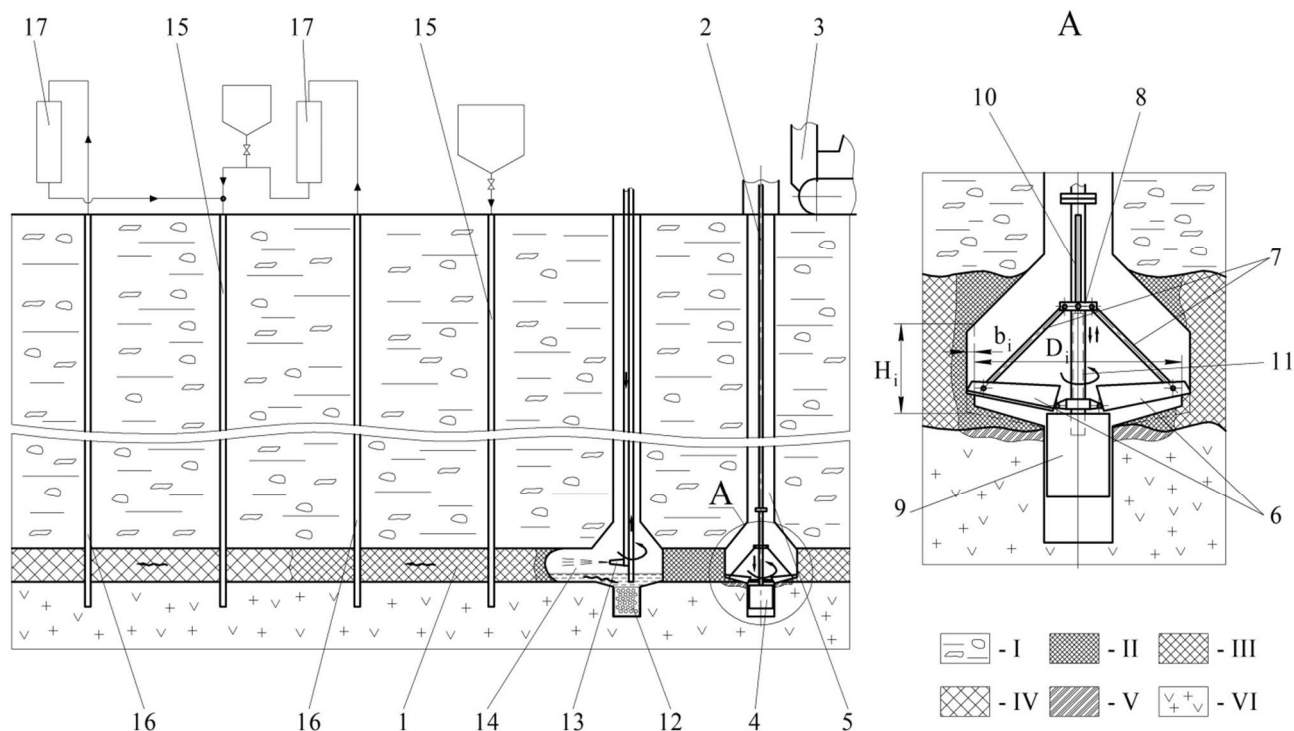


Рис. 1. Схема комбинированной разработки сложноструктурных глубокозалегающих россыпей: I – торф; II, III, IV – зоны соответственно богатых, рядовых и бедных песков; V – обогащенная зона с рудным золотом в плотике; VI – плотик

Fig. 1. Process flow chart of combined development for complex structure deep-seated placers: I is peat; II, III, IV are zones of rich, ordinary and poor sands, respectively; V is an enriched zone with ore gold in the bedrock; VI is a bedrock

При выявлении богатых песков, существенная часть металла в которых представлена относительно крупными золотиными размером более 1,5-2 мм, осуществляется вторая стадия разведки со сгущением сети скважин и уточнением контуров зон богатых песков. Опережающая выемка богатых песков с относительно крупным самородным золотом ведется механическим способом путем первичного расширения разведочной скважины на всю глубину с применением шнека большого диаметра (на рис. 1 не показан). После чего шнек на штанге 2 буровой установки 3 заменяется на дистанционно управляемый выемочный модуль 4, осуществляющий повторное расширение скважины 5 на горизонте продуктивного пласта 1. Выемочный модуль 4 включает режущие элементы 6 с тягами 7 и подвижной втулкой 8, бадью 9, а также пустотелую направляющую 10, внутри которой размещен гидроцилиндр 11. При погружении или подъеме выемочного модуля 4 гидроцилиндр 11 полностью выдвинут, подвижная втулка 8 поднята в крайнее верхнее положение, а тяги 7 и режущие элементы 6 вытянуты вдоль пустотелой направляющей 10. После достижения выемочным модулем 4 горизонта продуктивного пласта 1 гидроцилиндр 11 частично втягивается, подвижная втулка 8 начинает опускаться, при этом режущие элементы 6 посредством тяг 7 начинают поворачиваться, одновременно осуществляется вращение выемочного модуля 4 на штанге 2 с его медленным погружением. Повторное расширение скважины 5 производится тонкими вертикальными слоями, толщина которых определяется из условия заполнения бадьи 9 при перемещении выемочного модуля 4 в пределах мощности продуктивного пласта 1:

$$b_i = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{4V_B}{\pi H_i K_p} + D_i^2} - D_i \right),$$

где V_B – объем бадьи, m^3 ; H_i – высота участка повторно расширяемой скважины с учетом геометрии перемещения режущих элементов, м; D_i – текущий диаметр повторно расширяемой скважины, м; K_p – коэффициент разрыхления песков.

Поднимаемые в бадье на поверхность богатые пески контролируются по содержанию и крупности полезного компонента. Повторное расширение скважины продолжается до сниже-

ния качества извлекаемой минеральной массы до установленного уровня. Производительность буровой установки, $m^3/ч$, по извлечению богатых песков при расширении скважин определяется по формуле

$$\Pi = \frac{60V_B K_H K_B}{(t_{oi} + t_{повi} + t_p + t_{пи} + t_B) K_p},$$

где K_H – коэффициент наполнения бадьи; K_B – коэффициент использования буровой установки по времени; t_{oi} , $t_{пи}$ – соответственно время опускания и подъема выемочного модуля в зависимости от глубины нахождения продуктивного пласта, мин; $t_{повi}$ – время поворота режущих элементов в рабочее и транспортное положение в зависимости от величины расширения скважины, мин; t_p – время резания песков до заполнения бадьи, мин; t_B – время выгрузки песка из бадьи, мин.

Для осуществления механической выемки песков можно использовать буровые установки типа Bauer. Так, установка Bauer MBG-12 при массе 34,5 т имеет максимальный диаметр бурения шнеком 1,3 м на глубину до 36 м, данное оборудование с 2006 года выпускается в г. Кургане. Предварительные расчеты показывают, что производительность буровой установки Bauer MBG-12, оснащенной выемочным модулем предлагаемой конструкции, при разработке продуктивного пласта, залегающего на глубине 35 м, составит 18-20 $m^3/ч$. После выемки богатых песков производится отработка обогащенной зоны с рудным золотом в плотике, поднятая горная масса направляется обогащению с извлечением золота гравитационным или флотогравитационным способом.

Для выемки оставшихся богатых песков в ранее сформированных полостях размещают коллекторы 12 с перфорированными стенками, а также погружные гидромониторы 13 и водными струями перемещают минеральную массу богатых песков с осаждением и накоплением внутри коллекторов 12 крупнозернистого золота и шлиховых материалов. Коллекторы 12 периодически поднимают на поверхность для извлечения крупнозернистого золота. Добытые механическим и гидравлическим способом богатые пески направляются на многостадийное обогащение, обеспечивающее наиболее полное извлечение гравииобогатимого золота, при этом хвосты обогащения, содержащие

недоизвлеченное «тонкое» и дисперсное золото, подаются в сформированные полости 14 пласта песков для последующего выщелачивания и закладки выработанного пространства.

После опережающей выемки обогащенных участков россыпи осуществляется подготовка оставшейся части залежи к скважинному выщелачиванию путем вскрытия продуктивного пласта песков закачными 15 и откачными 16 скважинами. Для повышения эффективности скважинного выщелачивания при обработке участков рядовых песков, содержащих преимущественно средне-размерное и мелкое золото, через закачные скважины подается активированный гипохлоритно-хлоридный раствор с повышенной концентрацией комплексообразователей для золота [17]. Продуктивный раствор, поднятый через откачные скважины на дневную поверхность, подается к сорбционным колоннам 17. Исследования по выщелачиванию золотосодержащих песков активированными растворами, проведенные авторами, показали возможность существенного повышения извлечения металла (на 17-20%) за счет интенсивного окисления минеральных матриц магнетита и пирита, содержащих инкапсулированное и дисперсное золото (рис. 2).

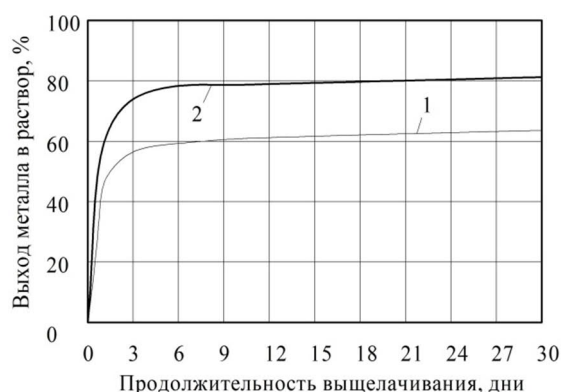


Рис. 2. Графики зависимости извлечения золота из песков в продуктивный раствор от продолжительности выщелачивания: 1 – хлоридный раствор; 2 – гипохлоритно-хлоридный раствор, полученный в электрофотохимическом реакторе

Fig. 2. Dependence diagrams of gold extraction from sands into a product solution and the duration of leaching: 1 is a chloride solution; 2 is a hypochlorite-chloride solution produced in an electrophotochemical reactor

Для выщелачивания участков бедных песков, содержащих преимущественно мелкое, «тонкое» и дисперсное золото, предлагается использовать маточный раствор, реактивированный и доукрепленный комплексообразователем.

Выводы

Авторами предложена технология комбинированной разработки сложноструктурных глубокозалегающих россыпей с опережающей выемкой богатых песков. Механическая выемка основного объема богатых песков, содержащих относительно крупное самородное золото с применением бурового агрегата, оборудованного выемочным модулем, позволит существенно сократить потери металла в сравнении с полностью скважинной гидродобычей. Конструкция выемочного модуля дает возможность существенно расширять диаметр скважин и проводить выемку как песков продуктивного пласта, так и обогащенной рудной зоны плотика. Наличие скважин, оставшихся после механической выемки, позволит существенно уменьшить расходы для организации последующей скважинной гидродобычи оставшихся объемов богатых песков. Поднятые на поверхность богатые пески направляются на дорогостоящее многостадийное обогащение, обеспечивающее максимальное извлечение металла из относительно небольшого объема песков. Основной объем залежи, представленный рядовыми и бедными песками, имеющими существенно меньшее содержание металла, представленного, кроме того, меньшими классами крупности золотин, обрабатывается с применением скважинного выщелачивания растворами с адаптивными концентрациями, обеспечивающими относительно высокое извлечение золота в продуктивный раствор. Сравнительные экспериментальные исследования по выщелачиванию золота песков россыпей показали существенное повышение извлечения металла при использовании активированного раствора в сравнении традиционным. Проведенные укрупненные расчеты применительно к одной из сложноструктурных глубокозалегающих россыпей показали, что применение предлагаемой комбинированной технологии позволит увеличить извлечение металла из песков сложноструктурной россыпи на 12-15% при снижении удельной себестоимости добычи золота на 4-5%.

Список источников

1. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T. W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines // *The Canadian Mineralogist*. 2017, vol. 55, no. 1, pp. 45-62.
2. Дорош Е.А., Тальгамер Б.Л. Обоснование рациональных способов вовлечения в разработку отвалов россыпной золотодобычи // *Вестник Магнитогорского государственного университета*.

- горского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №3. С. 64-76.
3. Verbrugge B., Geenen S. The gold commodity frontier: A fresh perspective on change and diversity in the global gold mining economy // *The Extractive Industries and Society*. 2019, vol. 6, no. 2, pp. 413-423.
 4. Васильева С.В., Секисов А.Г. Экономика отраслевых рынков. Чита: Изд-во ЧитГУ, 2011. 124 с.
 5. Башмачников А. Производство золота в России – итоги 2021 года // *Золото и технологии*. 2022. №2. С. 18-29.
 6. Holley E. A., Yu Ting Yu, Navarre-Sitchler A., Winterton J. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach. *Hydrometallurgy*. 2018, vol. 181, pp. 130-142.
 7. Чебан А.Ю., Рассказов И.Ю., Литвинцев В.С. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области // *Маркшейдерия и недропользование*. 2012. №2. С. 41-50.
 8. Хрунина Н.П. Совершенствование комплекса средств для переработки высокоглинистых золотоносных песков россыпей // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2021. Т.19. №2. С. 14-22.
 9. Анализ экономической эффективности добычи золота на россыпных месторождениях способами бульдозерно-скреперным и подземного скважинного выщелачивания / Рогов Е.И., Жатканбаев Е.Е., Жатканбаева Ж.К., Болатова А.Б., Нурымов Ж.Д. // *Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева*. 2020. №3. С. 32-38.
 10. Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Старцев В.А. Разработка россыпей направленным бурением скважин // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2019. №3. С. 135-144.
 11. Рассказов И.Ю., Чебан А.Ю., Литвинцев В.С. Анализ технической оснащенности горнодобывающих предприятий Хабаровского края и Еврейской автономной области // *Горный журнал*. 2013. №2. С. 30-34.
 12. Ermakov S.A. and Burakov A.M. Complex-structure gold placer mining in Yakutia // *Journal of Mining Science*. 2013, vol. 49, no. 2, pp. 273-278.
 13. Рукович А.В., Рочев В.Ф. Использование метода скважинной гидродобычи на россыпных месторождениях золотая Южной Якутии // *Успехи современного естествознания*. 2017. №10. С. 101-106.
 14. Qiao Chen, Hong-ying Yang, Lin-lin Tong, Hui-qun Niu, Fu-sheng Zhang et al. Research and application of a Knelson concentrator: A review // *Minerals Engineering*. 2020, vol. 152, 106339.
 15. Опыт разработки погребенных многолетнемерзлых россыпей золота скважинной гидродобычей / Аренс В.Ж., Фазлулин М.И., Хрулев А.С., Хчян Г.Х. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019. №1. С. 26-35.
 16. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling // *Minerals Engineering*. 2017, vol. 112, pp. 57-67.
 17. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit // *Minerals*. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 1-11.
 18. Алексеев В.С., Серый Р.С., Соболев А.А. Повышение извлечения мелкого золота на промывочном приборе шлюзового типа // *Обогащение руд*. 2019. №5. С. 13-18.
 19. Пат. 2740647 Российская Федерация, МПК E21B 43/28. Способ разработки россыпных месторождений с использованием скважинного выщелачивания / А.Г. Секисов, А.Ю. Чебан, А.В. Рассказова, К.В. Гевало; заявитель и патентообладатель Хабаровский Дальневосточный исследовательский центр ДВО РАН. № 2020119013; заявл. 02.06.2020; опубл. 19.01.2021.
 20. Пат. 2774167 Российская Федерация, МПК E21C 41/28. Способ разработки сложноструктурных глубокозалегающих россыпей / А.Ю. Чебан, А.Г. Секисов, Н.П. Хрунина; заявитель и патентообладатель Хабаровский Дальневосточный исследовательский центр ДВО РАН. № 202112388; заявл. 09.08.2021; опубл. 15.06.2022.

References

1. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T.W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines. *The Canadian Mineralogist*. 2017;55(1):45-62.
2. Dorosh E.A., Talgamer B.L. Rationale for feasible ways of involving dumps of placer gold mining in the development. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022;20(3):64-76. (In Russ.)
3. Verbrugge B., Geenen S. The gold commodity frontier: A fresh perspective on change and diversity in the global gold mining economy. *The Extractive Industries and Society*. 2019;6(2):413-423.
4. Vasileva S.V., Sekisov A.G. *Ekonomika otraslevykh rynkov* [Economy of branch markets]. Chita: Chita State University; 2011. 124 p. (In Russ.)
5. Bashmachnikov A. Gold production in Russia - the results of 2021. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and Technologies]. 2022;(2):18-29. (In Russ.)
6. Holley E.A., Yu Ting Yu, Navarre-Sitchler A., Winterton J. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach. *Hydrometallurgy*. 2018;181:130-142.
7. Cheban A.Yu., Rasskazov I.Yu., Litvintsev V.S. Analysis of the pool of mining machines at mining enterprises in the Amur Region. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use]. 2012;(2):41-50. (In Russ.)

8. Khrunina N.P. Improving the complex of means for the processing of high-clay gold-bearing sands of placers. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021;19(2):14-22. (In Russ.)
9. Rogov E.I., Zhatkanbaev E.E., Zhatkanbaeva Zh.K., Bolatova A.B., Nuryimov Zh.D. Analysis of the economic efficiency of gold mining at alluvial deposits using bulldozer-scraper and in-situ leaching methods. *Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva* [Bulletin of Serikbaev East Kazakhstan State Technical University]. 2020;(3):32-38. (In Russ.)
10. Bagazeev V.K., Valiev N.G., Startsev V.A. Development of placers by directional drilling of wells. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Proceedings of Tula State University. Series: Earth Sciences]. 2019;(3):135-144. (In Russ.)
11. Rasskazov I.Yu., Cheban A.Yu., Litvintsev V.S. Analysis of the technical equipment of mining enterprises in the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2013;(2):30-34. (In Russ.)
12. Ermakov S.A., Burakov A.M. Complex-structure gold placer mining in Yakutia. *Journal of Mining Science*. 2013;49(2):273-278.
13. Rukovich A.V., Rochev V.F. Using the method of hydraulic borehole mining for placer gold deposits in southern Yakutia. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences]. 2017;(10):101-106. (In Russ.)
14. Qiao Chen, Hong-ying Yang, Lin-lin Tong, Hui-qun Niu, Fu-sheng Zhang et al. Research and application of a Knelson concentrator: A review. *Minerals Engineering*. 2020;152:106339.
15. Arens V.Zh., Fazlulin M.I., Khrulev A.S., Khcheyan G.Kh. Experience of hydraulic borehole mining of gold placers buried in permafrost. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2019;(1):26-35. (In Russ.)
16. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modeling. *Minerals Engineering*. 2017;112:57-67.
17. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit. *Minerals*. 2021;11(1):1-11.
18. Alekseev V.S., Seryi R.S., Sobolev A.A. Increasing the extraction of fine gold on a sluice-type flushing device. *Obogashchenie rud* [Ore Dressing]. 2019;(5):13-18. (In Russ.)
19. Sekisov A.G., Cheban A.Yu., Rasskazova A.V., Gevalo K.V. A method for the development of alluvial deposits using in-situ leaching. RU2740647 (Patent) 2021.
20. Cheban A.Yu., Sekisov A.G., Khrunina N.P. A method for the development of complex structural deep-seated placers. RU2774167 (Patent) 2022.

Поступила 08.11.2022; принята к публикации 13.12.2022; опубликована 27.03.2023
Submitted 08/11/2022; revised 13/12/2022; published 27/03/2023

Чебан Антон Юрьевич – ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия. Email: chebanay@mail.ru.

Секисов Артур Геннадиевич – главный научный сотрудник, Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия. Email: sekisovag@mail.ru.

Anton Yu. Cheban – Lead Researcher, Mining Institute of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (MI KhFRC FEB RAS), Khabarovsk, Russia. Email: chebanay@mail.ru.

Artur G. Sekisov – Chief Researcher, Mining Institute of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (MI KhFRC FEB RAS), Khabarovsk, Russia. Email: sekisovag@mail.ru.