

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛИМОРФНЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

А.Г. Секисов¹, М.А. Бянкин¹, В.С. Алексеев¹, А.В. Рассказова¹

¹ ХФИЦ ИГД ДВО РАН, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН,
Хабаровск, Россия, e-mail: sekisovag@mail.ru

Аннотация: Золотосодержащие россыпи, разрабатываемые в настоящее время, характеризуются многообразием форм его нахождения в продуктивных песках при значительной доле части таких сложноизвлекаемых гравитационными способами обогащения составляющих, как тонкое, чешуйчатое и инкапсулированное золото. В некоторых россыпях Дальневосточного региона в алевритовой фракции продуктивных песков и шлиховых минералах в промышленных концентрациях присутствует и химически связанная форма золота. При промывке песков россыпей с такими формами нахождения золота его общие потери могут достигать 40–50%, причем даже использование современных центробежных концентраторов не позволяет решить эту проблему. Поэтому при разработке полиморфных россыпей со значительной долевой частью неизвлекаемых гравитационными способами форм золота для их извлечения объективно требуется использование процессов выщелачивания, как в сочетании с традиционными способами добычи и переработки, так и в соответствующих условиях, непосредственно из продуктивных песков. При проведении исследований одного из таких полиморфных объектов с существенно различными условиями залегания продуктивных песков – россыпи Большой Делегенных-Неверный, с позиций оценки возможности использования физико-химических геотехнологий при его освоении, применялся комплексный минералого-геохимический анализ исходных проб, проб хвостов промывки, включая электронную микроскопию с локальным рентгено-спектральным анализом, результаты которого отражены в данной работе. Также в статье приводится теоретическое обоснование параметров и режимов активационного выщелачивания сложноизвлекаемых форм россыпного золота бесцианидными растворами, результаты экспериментальных исследований активационного выщелачивания в перколяционном и агитационном режимах из проб песков россыпи Большой Делегенных-Неверный и хвостов их промывки. По результатам этих исследований были предложены комбинированные технологические схемы разработки участков этой россыпи, включающие отработку таковых с преимущественно гравобогащаемым золотом и промывкой извлеченных песков, с последующим кюветным или чановым выщелачиванием тонкого, чешуйчатого и инкапсулированного золота из хвостов промывки, и скважинное выщелачивание золота из глубокозалегающих участков.

Ключевые слова: золотосодержащие полиморфные россыпи, тонкое, чешуйчатое и инкапсулированное золото, промывка песков, активационное выщелачивание, бесцианидные растворы, электрохимическая обработка, кюветное выщелачивание, скважинное выщелачивание, комбинированные технологические схемы.

Благодарность: Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20026, <https://rscf.ru/project/24-17-20026/>, совместно с министерством образования и науки Хабаровского края (соглашение 109С/2024). Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2025-621.

Для цитирования: Секисов А. Г., Бянкин М. А., Алексеев В. С., Рассказова А. В. Обоснование использования физико-химических геотехнологий при разработке полиморфных россыпей золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 9. – С. 5–20. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_9_0_5.

Justification of physicochemical geotechnologies for polymorphic gold placers

A.G. Sekisov¹, M.A. Byankin¹, V.S. Alekseev¹, A.V. Rasskazova¹

¹ Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, a separate division of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia, e-mail: sekisovag@mail.ru

Abstract: Gold placers currently being mined contain various forms of gold in productive sand, and many such forms are difficult to recover by gravity separation, for instance, fine, flake and encapsulated gold particles. In the Far East of Russia, some placers hold commercial concentrations of chemically bound gold in aleurite fraction in productive sand and in schlich minerals. Sluicing of sand with such forms of gold occurrence can bring gold losses up to 40–50%, and even the advance centrifugal concentrators prove unequal to the task. For this reason, in mining of polymorphic gold placers with high content of gold forms unrecoverable using gravity separation methods, it is required to include leaching processes, both as in-situ leach of productive sand and in combination with the conventional mining and processing techniques. Investigation of one of such polymorphic gold placers, with largely different occurrence conditions of productive sand–Bolshoi Delegennyakh–Neverny placer—with a view to estimating feasibility of physicochemical geotechnologies used the integrated mineralogical and geochemical analysis of original samples and sluice box tailings samples, including electron microscopy and the local X-ray spectral analysis. The analytical results are reported in this article. Moreover, the article offers a theoretical justification of parameters and modes for activation leaching of difficult-to-recover gold forms using non-cyanide solutions, and the results of the experimental research of activation percolation and agitation leaching of samples of the Bolshoi Delegennyakh–Neverny sand and sluice box tailings. From the evidence of the research, the mixed-type process flowsheets are proposed for processing the test placer gold, including gravity separation and sluicing of gold sand, with the further box and tank leaching of fine, flaky and encapsulated gold particles, in combination with the deep-level in-situ leaching.

Key words: polymorphic gold placers, fine gold, flaky gold, encapsulated gold, sand sluicing, activation leaching, non-cyanide solutions, electrochemical treatment, box leaching, in-situ leaching, mixed-type process flowsheets.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 24-17-20026, <https://rscf.ru/project/24-17-20026/>, and by the Ministry of Science and Education of the Khabarovsk Krai, Agreement No. 109S/2024. The research was performed using resources of the Shared Use Center for Minerals Research supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Agreement No. 075-15-2025-621.

Введение

В последние десятилетия сырьевая база россыпного золота значительно истощилась. В настоящее время она в основном представлена труднодоступными, малообъемными и глубокозалегающими месторождениями с относительно низким содержанием металла. При этом золото в продуктивных песках полиморфно [1], т.е. находится в различных формах, причем преимущественно — в сложноизвлекаемых: мелкое, тонкое, пылевидное, чешуйчатое, инкапсулированное и химически связанное (дисперсное) золото [2], локализуемое в шлиховых минералах, кварцехалцедоне, реже в глинах [3]. На многих крупных приисках хвосты промывки, накопленные за несколько десятилетий интенсивной разработки россыпей, в некоторых случаях содержат до нескольких граммов на кубометр такого золота, поэтому их переработка повторной промывкой [4] или другими методами гравитационного обогащения, включая центробежные аппараты нового поколения (Knelson, Falcon, Итомак и др.), чаще всего неэффективна [5]. В то же время новые физико-химические технологии извлечения золота, такие как кучное [6], кюветное и скважинное выщелачивание [7] из песков россыпей и хвостов их промывки, только начинают внедряться и в большинстве случаев, по многим причинам, недропользователями не рассматриваются как альтернатива традиционным технологиям [8, 9].

Вместе с тем при разработке крупных россыпных месторождений, находящихся в эксплуатации, традиционная механическая выемка песков с преимущественно гравобогатым золотом и

промывкой их на промприборах может сочетаться со скважинным выщелачиванием мелкого, пылевидного и чешуйчатого золота из целиковых участков полигонов [10], а также с кюветным и/или кучным выщелачиванием этих неизвлекаемых гравитационными методами форм нахождения золота из отвальных продуктов переработки песков: эфельных и гале-эфельных отвалов, хвостов промывки и доводки [11].

В качестве основного объекта исследований для оценки эффективности комбинированного извлечения гравобогатого золота и выщелачивания золота [12, 13], сложноизвлекаемого гравитационными методами обогащения, непосредственно из песков россыпей и производного техногенно-трансформированного сырья, было выбрано крупное россыпное месторождение золота — Большой Делегеннях-Неверный, с существенно изменяющейся глубиной залегания продуктивных песков на отдельных участках [14].

По классификации ГКЗ МПР РФ месторождение Б. Делегеннях-Неверный отнесено к третьей группе сложности [15]. Основными текущими проблемами освоения этого россыпного месторождения являются: снижение потерь сложноизвлекаемых форм золота при промывке песков текущей добычи, обоснование технологии разработки ее глубокозалегающих участков и оценка промышленного потенциала [16], сформированного за предшествующий период эксплуатации техногенного ресурса (эфельных и гале-эфельных отвалов) [17, 18].

Долинная россыпь Б. Делегеннях-Неверный представляет собой пласто-

вую лентообразную в плане залежь, вытянутую по долине ручья и частично (на 40% от общей площади) нарушенную предшествующей отработкой. Длина долинной россыпи составляет 6,75 км, ширина колеблется от 22 до 309 м, средняя — 117,3 м. Средняя мощность торфов по долинной россыпи составляет 18,55 м и доходит на отдельных участках до 40 м.

Промышленный пласт включает нижнюю часть аллювиальных отложений, т.е. собственно пески, и верхнюю часть песчаников и алевролитов, в трещинах которых аккумулируется золото с соотношением запасов 20% и 80% соответственно. Глубина проникновения золота в коренные породы плотика по трещинам локально достигает 1 м. Средняя мощность продуктивных песков долинной части россыпи составляет 1,87 м, изменяясь, при отсутствии установленных закономерностей, в интервале 0,9—3,3 м. Золото размерного диапазона 0,1—6 мм (при основной доле части по весу 0,1—1 мм) сложной морфологии, представлено преимущественно пластинами, чешуйками овальной и эллипсовидной формы, в основном с выраженной окатанностью. Поверхность золотин неровная, иногда покрыта окислами и гидроокислами железа. В продуктивном слое трещиноватых песчаников и алевролитов, непосредственно контактирующих с песчано-гравийным продуктивным слоем, в основном присутствует золото средних размеров (0,5—1 мм), также в основном пластинчатой и эллипсовидной формы, но крупные уплощенные и тем более изометричные золотины больше 2—2,5 мм встречаются редко [19].

Ручей Неверный является левым притоком ручья Б. Делегенях, впадает в него в 6 км от устья, протяженность ручья — 3 км. Долина ручья узкая, слабо разработанная. Ширина ее составля-

ет от 20 м в верховье до 200 м в устье. Плотиком россыпи ручья Неверный являются слабо трещиноватые песчаники, залегающие почти горизонтально.

Россыпь по отдельным разведочным линиям имеет глубину залегания продуктивного пласта песков, превышающую 30 м, при его мощности не более 3 м, и характеризуется сложным мелко-гнездовым распределением металла, как в плане, так и в вертикальном разрезе.

В связи с такими параметрами россыпи Б. Делегенях-Неверный целесообразно рассматривать возможность разработки ее глубокозалегающих участков не только открытым способом, но и подземным, с механической и/или гидравлической выемкой песков, а также, учитывая незначительную трещиноватость и заилинность нижней, непродуктивной части алевролитов и песчаников — подземным скважинным выщелачиванием. При этом даже при механической выемке песков из неглубокозалегающих участков, учитывая значительные потери мелкого золота сложной морфологии и «тонкого» золота при их промывке на промывочном приборе, необходимо оценивать целесообразность использования доизвлечения мелкого и чешуйчатого золота из хвостов промывки по схемам, включающим дополнительную переработку продуктивных классов крупности в вариантах кюветного, чанового или кюветно-кучного выщелачивания [20].

Методы исследования

При проведении исследований использовался комплексный метод, включающий аналитическое определение области использования физико-химических геотехнологий, в частности, для условий разработки россыпи Б. Делегенях-Неверный — скважинного выщелачивания, минералого-геохимический анализ

исходных проб, проб хвостов их промывки, теоретическое обоснование параметров и режимов активационного выщелачивания из них сложноизвлекаемых форм нахождения россыпного золота бесцианидными растворами, экспериментальные исследования активационного выщелачивания в перколяционном и агитационном режимах.

Учитывая неопределенность фьючерсных цен на золото и закупочных цен на расходные материалы, определение глубины перехода с традиционных способов разработки на скважинные технологии, не требующие выемки вскрыши (скважинная гидродобыча — СГД, скважинное подземное выщелачивание — СПВ), может быть осуществлено на основе укрупненной технологико-экономической оценки вариантов. Традиционный технологико-экономический параметр, по которому определяется глубина перехода с открытого на подземный способ разработки — граничный коэффициент вскрыши, для условий разработки россыпей неприемлем. Этот показатель не учитывает изменение уровня извлечения золота, крупности и форм его нахождения в песках россыпи, а главное — возможность применения таких физико-химических методов добычи золота, как скважинное выщелачивание и/или скважинную гидродобычу, исключающие выемку вскрыши.

Использование вместо коэффициента вскрыши коэффициента горной массы, представляющего собой отношение суммарного объема извлекаемой вскрыши и песков к количеству получаемого металла, позволяет учесть содержание золота и разницу в его извлечении, в том числе по формам нахождения при различных способах добычи и переработки:

$$K_{зм} = \frac{Q_s + Q_n}{Q_n * \rho * \alpha * \eta} = \frac{Q_s + Q_n}{Z}, \quad (1)$$

где Q_n — объем полезного ископаемого, m^3 ; Q_s — объем вскрыши, m^3 ; ρ — плотность полезного ископаемого (t/m^3); α — содержание металла, г/т; η — коэффициент извлечения при промывке (0,60–0,95), д.е.; Z — количество извлеченного золота, г.

Коэффициент горной массы успешно использовался на стадии предпроектных исследований для установления параметров и порядка развития горных работ на ряде крупных рудных карьеров, включая Сорский карьер и карьер Мурунтау. Для условий разработки крупных россыпей со значительно изменяющимися глубиной залегания и формами нахождения золота, а также сопоставления трудоемкости и степени их извлечения необходимо в первую очередь оценивать для их различных участков относительную эффективность использования традиционных способов выемки и промывки песков и скважинных способов добычи.

Поскольку объем полезного ископаемого, в данном случае продуктивных песков, значительно меньше объема торфов и, главное, он уже учитывается при расчете количества получаемого металла, то оценка может проводиться по соотношению параметров: «объем вскрышных работ — количество полученного металла», что позволяет использовать в качестве критерия минимум коэффициента вскрышной массы.

Коэффициент вскрышной массы $K_{вм}$, в отличие от известного коэффициента горной массы, оценивающего соотношение всей извлекаемой горной массы (т.е. суммарного объема вскрыши и полезного ископаемого) и находящегося в ней металла, определяется только соотношением объемов вскрыши и извлекаемого в конечный продукт металла:

$$K_{вм} = \frac{Q_s}{Q_n * \rho * \alpha * \eta} = \frac{Q_s}{Z}. \quad (2)$$

При этом объемы вскрыши рассчитываются как для традиционной схемы выемки, так и для скважинных способов — через коэффициент приведения для вскрышных пород, не извлекаемых, а только обуриваемых скважинами, используемыми для выщелачивания или гидродобычи, т.е. вместо объемов извлекаемой вскрышной массы оценивается объем обуриваемых вскрышных пород.

Приведенный коэффициент вскрышной массы определяется по формуле

$$K_{пвм} = \frac{h_6 / h_b * V_b * C_6 / C_m}{V_n * \rho * \alpha * \eta * C_n / C_b}, \quad (3)$$

где h_6 — глубина бурения скважины, м; h_b — глубина залегания (мощность) торфов, м; C_6 — себестоимость бурения, р/м; C_n — себестоимость выемки торфов, их транспортировки и отвалообразования, руб/м³; V_b — объем торфов, м³; V_n — объем продуктивных песков, м³; η — коэффициент извлечения золота при выщелачивании, д.е.; C_n — себестоимость 1 г золота при промывке песков, руб/г; C_b — себестоимость 1 г золота при выщелачивании песков, руб/г.

Приведение по себестоимости позволяет объективно экономически опосредованно оценить разницу затрат на традиционное проведение вскрышных работ и на буровую подготовку массива горных пород к скважинному выщелачиванию. Аналогичный расчет может производиться и для способа скважинной гидродобычи. При этом критерием выбора варианта отработки технологических зон является соотношение коэффициента вскрышной массы и приведенного коэффициента вскрышной массы. При условии $K_{вм} \geq K_{пвм}$ целесообразно осуществлять переход на скважинную гидродобычу и/или скважинное выщелачивание.

Количество извлеченного металла при использовании скважинного выщела-

чивания, как правило, больше, чем при традиционной добыче и промывке, поскольку в промышленный цикл вовлекаются и забалансовые запасы россыпи, но при этом необходимо исключать возможные потери продуктивных растворов из-за их утечек, т.е. не рассматривать вариант скважинного выщелачивания при неблагоприятных гидрогеологических условиях.

Результаты исследования

На основании укрупненных расчетов для условий разработки месторождения Б. Делегенных-Неверный, выполненных с использованием коэффициента вскрышной массы и приведенного коэффициента вскрышной массы, была определена глубина перехода на альтернативные способы — скважинную гидродобычу и/или скважинное подземное выщелачивание, которая составила от 18 м.

При этом целесообразно также учитывать, что потери сложноизвлекаемых форм золота в целиках и с хвостами, образующиеся при использовании традиционных схем добычи и промывки, могут быть компенсированы применением геотехнологий кучного, кюветного, кюветно-кучного, кюветно-скважинного выщелачивания, особенно в тех случаях, когда традиционное гравитационное обогащение неэффективно. Такие геотехнологии могут быть использованы и для освоения целиковых участков россыпи с низким содержанием золота или его представленностью в основном мелкими и «тонкими» частицами, а также и для переработки хвостов.

При глубине залегания пласта песков более 25 м открытые и подводные (дражные) горные работы становятся неоправданно затратными, а также технически сложными. В этих условиях перспективными методами добычи являются скважинное подземное выщелачивание

Таблица 1

Физико-химические параметры продуктивных растворов по контрольному тесту
Physicochemical parameters of pregnant solution according to the control test

Слив	pH	Eh, mV	Показания прибора, ppm	Выход в жидкое, г/т
1-1	10,7	+191	5,2403	7,49
2-1	10,7	+70	3,5014	4,97

золота и/или скважинная гидродобыча, при которых не требуется извлечение всей горной массы на поверхность.

Для оценки возможности использования на данном объекте способов выщелачивания золота, как из хвостов промывки, так и скважинного варианта его реализации, в ИГД ДВО РАН совместно с ООО «Омега» выполнен комплекс соответствующих экспериментальных исследований. В последние годы активно развивается новое направление в выщелачивании золота группой реагентов-заменителей цианидов, включая отечественный — Flotent, в котором комплексообразующая группа CN как отдельное соединение не гидратируется при растворении, а преимущественно остается в связанном состоянии с другими химическими элементами. Использование других бесцианидных выщелачивающих реагентов, требующих больших основных и транспортных расходов, таких как тиомочевина или гипохлорит натрия, для таких удаленных объектов проблематично. Тем более что предварительно проведенные эксперименты по выщелачиванию золота из навесок продуктивной фракции пробы тиомочевинными и хлоридно-гипохлоритными растворами не показали при-

емлемого уровня извлечения (менее 40% за 6 ч прямой агитации).

Поэтому эксперименты по перколяционному и агитационному выщелачиванию золота проводились раствором экологозащитного заменителя цианида (реагент Flotent GL3 (далее Флотент), пр-во РФ, Самара) [21]. При этом использовался только продуктивный класс пробы песков (–2,0+0,0 мм), в котором сконцентрирована основная часть золота.

Первоначально был проведен лабораторный контрольный тест на выщелачиваемость на 2 параллельных навесках массой по 100 г. При этом была произведена подготовка пульпы на основе раствора флотента (эквивалент по NaCN = 1 г/л), Ж:Т = 2:1, и агитационное выщелачивание из ее твердой фазы золота на рольганге в течение 6 ч, после чего осуществлен слив пульпы и фильтрация раствора. Результаты определения физико-химических параметров фильтратов, анализа исходной твердой фазы и фильтрата на золото приведены в табл. 1, 2.

Золото из материала пробы хорошо извлекается данным реагентом, при том что его основная часть представлена не только тонкими и пылевидными части-

Таблица 2

Результаты извлечения золота по контрольному тесту
Results of gold extraction according to the control test

Навеска пробы	Исходное содержание, г/т (гравиметрический метод)	Содержание в жидкой фазе, г/т (атомно-абсорбционный анализ)	Выход в жидкое, г/т	Расхождение относительно расчетного исходного, %
1	2,52	3,75	7,5	297,4
2	2,52	2,49	4,97	197,3

Таблица 3

Результаты извлечения золота по стандартной схеме выщелачивания
Results of gold extraction using the standard leaching scheme

Проба	Исходное содержание с расчетом по сумме Ж:Т, г/т	Содержание золота в жидкой фазе, г/т	Содержание золота в кеках, г/т	Извлечение, %
1	7,36	6,54	0,95	87,1
2	6,06	4,74	1,32	78,2
Среднее	6,71	5,64	1,13	82,65

цами, но и «скрытыми» — инкапсулированными и, возможно, химически связанными. При стандартном расходе реагента и интенсивном массообмене в режиме агитации растворение золота происходит за 6 ч, т.е. удовлетворительно. Извлечение золота в силу высокой изменчивости содержания его различных форм нахождения в отдельных навесках рассчитать по исходному содержанию в твердом, определенному по входному анализу и выходу в жидкую фазу, невозможно. Поэтому далее в экспериментах расчет извлечения золота производился детально — по балансу металла в твердых и жидких продуктах для каждой навески.

Контрольный тест с расчетом извлечения по балансу металла.

Подготовка пульпы из навесок пробы и раствора флотента (эквивалент по $\text{NaCN} = 1$ г/л) производилась до достижения Ж:Т = 2:1. Агитационное выщелачивание стандартным раствором флотента осуществлялось в течение 5 ч. Результаты приведены в табл. 3.

Основная серия экспериментов проводилась с активацией исходной воды перед вводом в нее реагента при использовании двух режимов обработки минеральной массы: диффузионного и конвективного (агитационного) выщелачивания. Переменным параметром (при прочих неизменных) принималось время электрохимической активации исходной воды: 15, 30, 45 мин лабораторным погружным реактором «Санер». Начальное экспериментальное выще-

лачивание (эксперимент № 1) проводилось с предварительной пропиткой навесок обычным водным, но концентрированным раствором флотента (двухстадийное диффузионно-агитационное выщелачивание без активации раствора).

Пропитка параллельных навесок до Ж:Т = 1:10 осуществлялась концентрированным раствором флотента — 33,4 г/л (эквивалент по $\text{NaCN} = 10$ г/л), подготовленным на неактивированной водопроводной воде. Диффузионное выщелачивание осуществлялось при выстаивании пропитанного раствором материала под крышкой продолжительностью 3 сут. Параллельные навески минеральной массы с частично растворенным золотом, перешедшим из твердой фазы в пленочную субфазу раствора, распулповывались смешиванием с водой до достижения Ж:Т = 2:1. Подготовленная пульпа помещалась в закрытую емкость, в которой проводилось ее агитационное выщелачивание на рольганге в течение 5 ч. Извлечение золота в жидкую фазу пульпы осуществлялось непрореагировавшим флотентом, введенным на стадии пропитки (см. табл. 4).

Экспериментальное выщелачивание с пропиткой электроактивированной в реакторе водой и последующим агитационным выщелачиванием осуществлялось в трех вариантах. Активация в электрохимическом реакторе водопроводной воды осуществляется путем барботажа воздухом в течение 1 ч, электролиза и повторного барботажа первоначально в течение 15 мин (эксперимент

Таблица 4

Результаты извлечения золота в раствор в экспериментах**Results of gold extraction into solution in experiments**

Навеска	Исходное содержание, г/т	Содержание золота в жидкой фазе, г/т	Содержание золота в кеках, г/т	Извлечение, %
Эксперимент 1				
1	4,65	3,92	0,89	81,0
2	11,80	9,71	1,69	85,7
Среднее	8,22	6,82	1,29	83,2
Эксперимент 2				
1	14,69	11,42	3,27	77,7
2	7,10	5,97	1,13	84,1
Среднее	10,89	8,69	2,2	80,9
Эксперимент 3				
1	5,59	4,67	0,93	83,4
2	6,17	4,72	1,45	76,5
Среднее	5,88	4,69	1,19	79,95
Эксперимент 4				
1	5,58	4,96	0,62	88,9
2	6,28	5,33	0,95	84,9
Среднее	5,93	5,14	0,785	86,9
3	4,59	4,08	0,51	89,0
4	5,01	4,42	0,59	88,3
Среднее	4,8	4,25	0,55	88,7

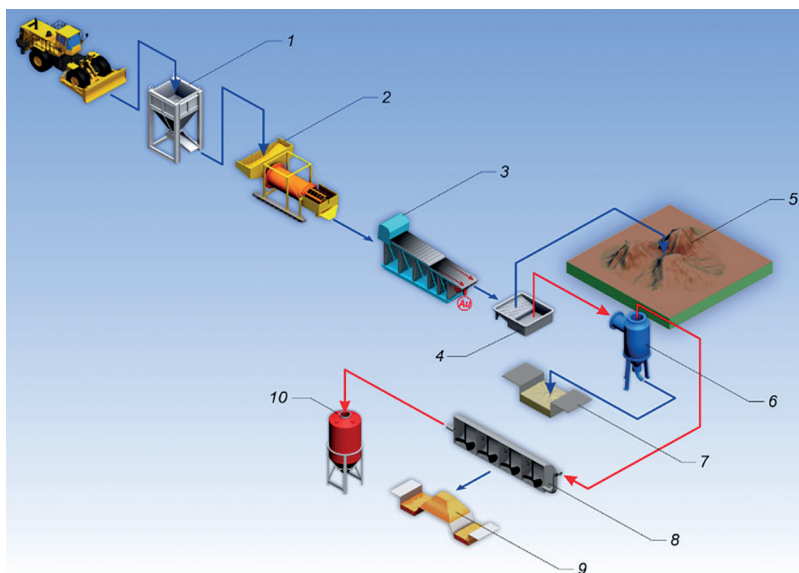
№ 2). Обработка навесок проводилась полученной электроактивированной водопроводной водой через пульверизатор. Пропитка навесок активированной водой проводилась до Ж:Т = 0,5:10. Выстаивание под крышкой в течение 3 сут. Распулповка и агитационное выщелачивание водным раствором флотента 3,3 г/л (эквивалент по NaCN = 1 г/л) в течение 5 ч при Ж:Т = 2:1.

Остальные эксперименты (№ 3, 4) по агитационному выщелачиванию также проводились с предварительной обработкой навесок пробы электроактивированной водопроводной водой, но с более длительным барботажем, т.е. условия проведения этих экспериментов аналогичны предыдущему варианту № 2, за исключением времени повторного

барботажа при активации воды, проводившегося в течение 30 и 45 мин соответственно. Результаты извлечения золота в раствор показаны в табл. 4.

Учитывая предыдущий опыт проведения экспериментов по другим россыпным объектам с большим временем электроактивации воды, равным 40 – 60 мин, при котором в основном наблюдалось повышение извлечения золота, для исключения случайности результата эксперимент № 4 продублирован еще на одной паре параллельных навесок.

Как видно из приведенных в таблице результатов, схема с предварительной подготовкой к выщелачиванию бесцианидным реагентом «Флотент» пропиткой продуктивной фракции эфелей россыпи Б. Делегенных-Неверный, элект-



- 1 – загрузочный бункер; 2 – бутара; 3 – промывочный комплекс (с концентратом Смирнова и/или спецзавихрителями; 4 – декантационная кювета; 5 – отвал некондиционной фракции; 6 – короткоконусный гидроциклон; 7 – отстойник песковой фракции; 8 – пачук сорбционного выщелачивания; 9 – шламонакопитель; 10 – емкость с насыщенным сорбентом

Рис. 1. Предлагаемая технологическая схема переработки песков

Fig. 1. Proposed flow chart for sand processing

рохимически обработанной в течение 45 мин водой, обеспечивает достижение минимальных остаточных содержаний золота в кеках выщелачивания, а соответственно, и его максимальное извлечение.

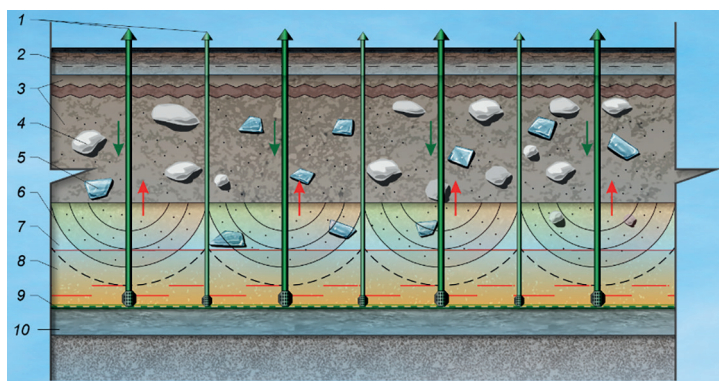
Таким образом, учитывая данные анализы на содержание золота по кекам выщелачивания (порядка 1 г/т), можно определенно считать, что извлечение его при расчетах по балансу будет достаточно высоким при использовании бесцианидного реагента «Флотент». Использование электрохимической активации воды для пропитки перед выщелачиванием раствором реагента «Флотент» позволит обеспечить относительный прирост извлечения золота на 5–7%.

На основе полученных экспериментальных результатов можно считать, что выщелачивание золота из продуктивной фракции хвостов промывки песков россыпи Б. Делегениях-Неверный, до-

бытых при открытой разработке из неглубокозалегающих участков, может осуществляться по схеме кучно-кюветного или кучно-чанового выщелачивания. При этом предлагается добываемые пески перерабатывать в две стадии (рис. 1).

Первоначально, после отделения на бутаре галечной фракции, продуктивные пески подаются на промывку с использованием в промывочном приборе встроенного в шлюз мелкого наполнения концентрата Смирнова или приставок других конструкций, позволяющих улавливать мелкое золото.

Хвосты, полученные при переработке исходных песков на промприборе, с тонким и чешуйчатым золотом направляют в аккумулирующую кювету, в дальней зоне которой накапливается мелкая продуктивная фракция (–2+0 мм). После декантации и обезвоживания эта фракция пропитывается активированной водой, а затем концентрированным



- 1 – технологические скважины (закачные-откачные); 2 – почвенный слой; 3 – торфа;
 4 – валуны в торфах; 5 – льдистые включения в торфах; 6 – зоны стадийного протаивания;
 7 – гравийно-песчано-глинистый продуктивный пласт; 8 – продуктивная зона трещиноватых сланцев и песчаников; 9 – искусственный водоупорный слой; 10 – плотик

Рис. 2. Схема скважинного подземного выщелачивания с послойной оттайкой продуктивных песков
 Fig. 2. Scheme of borehole underground leaching with layer-by-layer thawing of productive sands

раствором флотента. После выдерживания технологической паузы (3–5 сут) для осуществления выщелачивания основной части золота в диффузионном режиме минеральную массу распулповывают и полученную пульпу фракционируют на песковую и глинисто-илистую составляющие с использованием короткоконусных гидроциклонов или центробежного аппарата типа «Итомак». Также возможен вариант прямой (без предварительной аккумуляции) подачи продуктивной фракции в виде пульпы на фракционирование.

Глинисто-илистую фракцию подают в малогабаритные пачуки сорбционного выщелачивания или контактные чаны с загрузкой в них гранулированного сорбента (угля или ионообменной смолы), а песковую — в отстойник, перед сбросом в который пульпа проходит через контрольный компактный уловитель для мелкого золота.

Разработка глубокозалегающих участков россыпного месторождения Б. Делегень-Неверный может производиться с использованием скважинного выщелачивания (рис. 2). Поскольку продуктивные пески россыпи даже на глубинах

до 40 м залегают в мерзлых породах, то этот фактор может быть использован для регулирования потоков технологических растворов, и в первую очередь — для сведения к минимуму утечки продуктивных растворов. Предлагается производить послойную оттайку песков рабочими растворами путем их порционной подачи и выдерживания пауз. Осуществление порционной подачи концентрированных растворов реагентов обеспечивает его преимущественно горизонтальную фильтрацию по оттаявшему слою продуктивного пласта и подготовительное таяние нижележащего слоя. После оттаивания и выхода основной части золота в продуктивный раствор производят его откачку на поверхность. В верхний слой продуктивной части коренных пород, учитывая наличие в ней более крупного золота, выщелачивающий раствор на первом этапе должен подаваться с повышенной концентрацией и выдерживаться до подхода раствора из песчано-гравийных слоев. При этом естественным утечкам продуктивных растворов будет препятствовать не оттаявшая зона обледенения в непродуктивной части коренных пород.

Поскольку температура рабочего раствора по мере удаления от точек подачи в пласт будет неизбежно снижаться, то в нем будут формироваться объемные волнообразные зоны протайки с непроработанными гребнями. С наличием непроработанных гребней могут быть связаны значительные потери золота при СПВ. Поэтому бурение скважин целесообразно производить стадийно (скважины второй очереди предлагается бурить между скважинами первой очереди после первой стадии протайки пласта). Скважины первой очереди, после подачи рабочих растворов через скважины второй очереди, будут выполнять функцию откачных, что сведет к минимуму потери продуктивных растворов. Вскрывающие пласт песков скважины второй очереди на начальном этапе выщелачивания каждого слоя являются закачными, а затем, при формировании продуктивного раствора в текущем отрабатываемом слое, — откачными, так как через них же одновременно с задействованием скважин первой очереди производят откачку продуктивного раствора. Бурение скважин как первой, так и второй очередей ведут с заглублением в плотик, содержащий «просевшее» золото, с последующей подачей в призабойную часть глинистоилистого материала из прудков для создания гидроизолирующего слоя между плотиком и нижней частью продуктивного слоя.

Поскольку плотик этой россыпи в верхней части представлен трещиноватыми подстилающими породами-алевритами и песчаниками, содержащими золото, то такой перебур является технически и экономически оправданным.

Продуктивные растворы откачивают на поверхность, где производят их технологический передел (осаждают и/или сорбируют из них растворенное золото). Маточный раствор реактивируют, что

повышает его температуру, доукрепляют и подают его в очередной слой продуктивного пласта песков через ранее оттаявшие слои. Для скважинного выщелачивания сложноизвлекаемых форм нахождения золота, как из искусственно созданных продуктивных слоев, так и из глубокозалегающих участков россыпи, предлагается использовать перкарбонатно-флотентные или перкарбонатно-хлоридные технологические растворы, подготовка которых осуществляется в электрохимическом или фотоэлектрохимическом реакторе. В ходе подготовки в них продуцируются активные окислители и комплексобразователи. Такие растворы после обработки имеют температуру порядка 30—35 °С, что позволяет производить ими и послойную оттайку как хвостов промывки, так и целиковых песков путем их порционной подачи и выдерживания пауз.

Способ обеспечивает повышение степени извлечения золота из продуктивного пласта сложноструктурных глубокозалегающих россыпей, расширяет технологическую эффективность при отработке его зон с разной крупностью частиц золота и их морфологией и снижает экологическую нагрузку на окружающую среду в районе ведения горных работ.

Заключение

На основе сравнения коэффициента вскрышной массы и приведенного коэффициента вскрышной массы для условий разработки месторождения Б. Делегенных-Неверный определена предельная глубина залегания продуктивных песков, при которой применение традиционного способа обработки становится неэффективным.

Установлено, что россыпные месторождения, пески которых содержат гравитационно неизвлекаемое золото в

промышленных концентрациях, целесообразно разрабатывать комбинированными технологиями, включающими применение гравитационных и химических методов обогащения.

Применение при подготовке к выщелачиванию электрохимически активированной воды обеспечивает прирост извлечения золота на 5–7% в сравнении с выщелачиванием без подготовительного этапа (на примере россыпи Б. Делегениях-Неверный).

Установлено, что извлечение золота из хвостов промывки песков россыпи Б. Делегениях-Неверный гравитационно неизвлекаемого золота, добытых при открытой разработке из неглубокозалегающих участков, может осуществляться по схеме кучно-кюветного выщелачивания.

Для отработки глубокозалегающей части россыпи Б. Делегениях-Неверный предложена схема скважинного выщелачивания золота с послойной оттайкой песков, осуществляемой путем порционной подачи рабочих растворов в про-

дуктивный пласт, выдерживания пауз и их откачки на поверхность. Применение схемы позволит обеспечить возможность вовлечения в эксплуатацию глубокозалегающих участков россыпи и повысить эффективность добычи и переработки песков приповерхностных участков.

Отсутствие у недропользователей информации о содержании различных форм нахождения золота в песках россыпных месторождений, кроме гравитационно обогатимого, влечет отсутствие интереса к разработке и применению современных методов их извлечения. Установление в песках россыпных месторождений и отходах их первичной отработки тонких, чешуйчатых, инкапсулированных и химически связанных форм золота может в значительной степени поднять их промышленную ценность, а применение химических и физико-химических технологий извлечения позволит организовать глубокую комплексную переработку минерального сырья, а также расширить минерально-сырьевую базу россыпной золотодобычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guerra M. F. Goldworking in Mycenaean Thessaly: Technological study of the gold objects from the four tholos tombs in the Bay of Volos // Journal of Archaeological Science: Reports. 2025, vol. 64, article 105129. DOI: 10.1016/j.jasrep.2025.105129.
2. Моисеенко В. Г., Кузнецова И. В. Роль наночастиц золота, серебра и свинца в образовании месторождений благородных металлов // Доклады Академии наук. — 2010. — Т. 430. — № 3. — С. 377–381.
3. Ван-Ван-Е А. П. Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. — М.: Изд-во «Горная книга», 2010. — 268 с.
4. Борисов Р. В., Брагин В. И., Жижаев А. М., Лихацкий М. Н. Особенности формирования вторичной золотой минерализации в лежалых хвостах ЗИФ // Обогащение руд. — 2022. — № 2. — С. 29–36. DOI: 10.17580/or.2022.02.05.
5. Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Алексеев В. С. Закономерности процесса формирования техногенных россыпей благородных металлов в современных условиях // Известия вузов. Горный журнал. — 2011. — № 8. — С. 135–145.
6. Eppink A., Briesen H. Optimal control of infiltration conditions in heap leaching // Minerals Engineering. 2026, vol. 236, part 2, article 109945. DOI: 10.1016/j.mineng.2025.109945.
7. Bahamondez C., Castro R., Vargas T., Arancibia E. In situ mining through leaching: experimental methodology for evaluating its implementation and economic considerations // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, vol. 116, no. 7, pp. 689–698. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n7a11.
8. Александрова Т. Н., Гурман М. А., Кондратьев С. А. Проблемы извлечения золота из упорных руд Юга Дальневосточного региона России и некоторые пути их решения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2011. — № 5. — С. 124–135.

9. Соколов М. А., Бянкин М. А., Кирильчук М. С. Экспериментальные исследования извлечения тонкого золота из глубокозалегающей россыпи Большой Делегенья // Недропользование XXI век. — 2024. — № 2 (103). — С. 80 — 86.

10. Кузнецова И. В., Сафронов П. П., Моисеенко Н. В. Вещественно-минеральная характеристика техногенных россыпей — потенциальных источников благородного металла (на примере Нижнеселенгинского золотоносного узла Приамурья, Россия) // Георесурсы. — 2019. — № 21(1). — С. 2 — 14. DOI: 10.18599/grs.2019.1.2-14.

11. Cassiano Costa e Castro, Arthur Eugênio Lima, Cristiane Castro Gonçalves Chemical and morphological characterization of alluvial gold tracer for provenance and regional exploration: A study case from the Varginha Stream watershed, southwest of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil // Journal of South American Earth Sciences. 2025, vol. 164, article 105656. DOI: 10.1016/j.jsames.2025.105656.

12. Rui Sousa, Maria João Regufe, António Fiúza, Mário Machado Leite, Aurora Futuro A systematic review of sustainable gold extraction from raw ores using alternative leaching reagents // The Extractive Industries and Society. 2022, vol. 9, article 101018. DOI: 10.1016/j.exis.2021.101018.

13. Xiang Liu, Yongliang Wang, Li Xiao, Licheng Ma, Peiwei Han, Shufeng Ye Eco-friendly and rapid extraction of gold by in-situ catalytic oxidation with N-bromosuccinimide // Heliyon. 2022, vol. 8, no. 6, article e09706. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09706.

14. Секисов А. Г., Алексеев В. С., Рассказова А. В., Серый Р. С. Геолого-технологические особенности комплексных и полиморфных россыпных месторождений Хабаровского и Забайкальского края // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2025. — № 1. — С. 553 — 569.

15. Неронский Г. И., Бородавкин С. И. Масштабы россыпей с мелким и тонким золотом и перспективы их освоения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № S4. — С. 518 — 529.

16. Мирзеханов Г. С. Оценочные критерии ресурсного потенциала техногенных образований россыпных месторождений золота Дальнего Востока России // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2014. — № 1. — С. 139 — 150.

17. Плечов П. Ю., Коновалова К. А. Искусственные месторождения и возможности их создания. Выводы и перспективы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3-1. — С. 34 — 39.

18. Ершов В. А. Целенаправленное преобразование россыпных месторождений при дражной разработке // Горная промышленность. — 2010. — № 5. — С. 70 — 72.

19. Секисов А. Г., Алексеев В. С., Литвинова Н. М., Конарева Т. Г., Бянкин М. А. Использование комбинированных геотехнологий при разработке россыпей со сложноизвлекаемыми формами нахождения золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 12. — С. 144 — 158. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_144.

20. Александров А. В., Богомяков Р. В., Конарева Т. Г. Технологические аспекты извлечения золота из техногенных образований Забайкальского края // Обогащение руд. — 2019. — Т. 5. — С. 41 — 46.

21. Холмогоров А. Г., Пашков Г. Л., Кононова О. Н., Кононов Ю. С., Плеханов В. П. Нецианидные растворители для извлечения золота из золотосодержащих продуктов // Химия в интересах устойчивого развития. — 2021. — № 9. — С. 293 — 298. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Guerra M. F. Goldworking in Mycenaean Thessaly: Technological study of the gold objects from the four tholos tombs in the Bay of Volos. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2025, vol. 64, article 105129. DOI: 10.1016/j.jasrep.2025.105129.

2. Moiseenko V. G., Kuznetsova I. V. The role of gold, silver and lead nanoparticles in the formation of noble metal deposits. *Doklady Akademii nauk*. 2010, vol. 430, no. 3, pp. 377 — 381. [In Russ].

3. Van-Van-E A. P. *Resursnaya baza prirodno-tekhnogennykh zolotorossypnykh mestorozhdeniy* [Resource base of natural-technogenic gold placer deposits], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 268 p.

4. Borisov R. V., Bragin V. I., Zhizhaev A. M., Likhatskiy M. N. Features of the formation of secondary gold mineralization in the tailings of gold processing plants. *Obogashchenie Rud*. 2022, no. 2, pp. 29 — 36. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2022.02.05.

5. Mamaev Yu. A., Litvintsev V. S., Alekseev V. S. Regularities of the formation process of technogenic placers of noble metals in modern conditions. *Minerals and Mining Engineering*. 2011, no. 8, pp. 135–145. [In Russ].
6. Eppink A., Briesen H. Optimal control of infiltration conditions in heap leaching. *Minerals Engineering*. 2026, vol. 236, part 2, article 109945. DOI: 10.1016/j.mineng.2025.109945.
7. Bahamondez C., Castro R., Vargas T., Arancibia E. In situ mining through leaching: experimental methodology for evaluating its implementation and economic considerations. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 7, pp. 689–698. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n7a11.
8. Aleksandrova T. N., Gurman M. A., Kondrat'ev S. A. Problems of gold extraction from refractory ores of the South of the Far Eastern region of Russia and some ways to solve them. *Journal of Mining Sciences*. 2011, no. 5, pp. 124–135. [In Russ].
9. Sokolov M. A., Bjankin M. A., Kirilchuk M. S. Experimental studies of the extraction of «thin» gold from the deep-lying Bolshaya Delegennyakh placer. *Nedropolzovanie XXI vek*. 2024, no. 2 (103), pp. 80–86. [In Russ].
10. Kuznetsova I. V., Safronov P. P., Moiseenko N. V. Mineralogical characteristics of technogenic placers as potential sources of noble metals (case study of the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing node, Amur region, Russia). *Georesursy*. 2019, no. 21(1), pp. 2–14. [In Russ]. DOI: 10.18599/grs.2019.1.2-14.
11. Cassiano Costa e Castro, Arthur Eugênio Lima, Cristiane Castro Gonçalves Chemical and morphological characterization of alluvial gold tracer for provenance and regional exploration: A study case from the Varginha Stream watershed, southwest of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 2025, vol. 164, article 105656. DOI: 10.1016/j.jsames.2025.105656.
12. Rui Sousa, Maria João Regufe, António Fiúza, Mário Machado Leite, Aurora Futuro A systematic review of sustainable gold extraction from raw ores using alternative leaching reagents. *The Extractive Industries and Society*. 2022, vol. 9, article 101018. DOI: 10.1016/j.exis.2021.101018.
13. Xiang Liu, Yongliang Wang, Li Xiao, Licheng Ma, Peiwei Han, Shufeng Ye Eco-friendly and rapid extraction of gold by in-situ catalytic oxidation with N-bromosuccinimide. *Heliyon*. 2022, vol. 8, no. 6, article e09706. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09706.
14. Sekisov A. G., Alekseev V. S., Rasskazova A. V., Seryy R. S. Geological and technological features of complex and polymorphic placer deposits of Khabarovsk and Transbaikalian regions. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2025, no. 1, pp. 553–569. [In Russ].
15. Neronskiy G. I., Borodavkin S. I. Scales of placers with fine and thin gold and prospects for their development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010, no. S4, pp. 518–529. [In Russ].
16. Mirzekhanov G. S. Evaluation criteria of the resource potential of technogenic formations of gold placer deposits in the Russian Far East. *Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center»*. *Earth Sciences*. 2014, no. 1, pp. 139–150. [In Russ].
17. Plechov P. Yu., Konovalova K. A. Artificial deposits and possibilities of their creation. Conclusions and prospects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3-1, pp. 34–39. [In Russ].
18. Ershov V. A. Purposeful transformation of placer deposits during dredging. *Russian Mining Industry Journal*. 2010, no. 5, pp. 70–72. [In Russ].
19. Sekisov A. G., Alekseev V. S., Litvinova N. M., Konareva T. G., Byankin M. A. The use of mixed-type technologies for mining refractory gold ore placers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 12, pp. 144–158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_144.
20. Aleksandrov A. V., Bogomyakov R. V., Konareva T. G. Technological aspects of gold extraction from technogenic formations of the Transbaikalian region. *Obogashchenie Rud*. 2019, vol. 5, pp. 41–46. [In Russ].
21. Kholmogorov A. G., Pashkov G. L., Kononova O. N., Kononov Yu. S., Plekhanov V. P. Non-cyanide solvents for gold extraction from gold-containing products. *Chemistry for Sustainable Development*. 2021, no. 9, pp. 293–298. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Секисов Артур Геннадиевич¹ — д-р. техн. наук,
зам. директора по научной работе, e-mail: sekisovag@mail.ru,
ORCID ID: 0001-0001-5780-6150,

Бянкин Максим Александрович¹ — аспирант,
e-mail: maxbyanich@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0006-2632-585X,

Алексеев Владимир Сергеевич¹ — канд. техн. наук,
зам. директора по научной работе и инновациям,
e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8248-105X,

Рассказова Анна Вадимовна¹ — канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: annbot87@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-6998-8120,

¹ ХФИЦ ИГД ДВО РАН, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.

Для контактов: Секисов А.Г., e-mail: sekisovag@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.G. Sekisov¹, Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for Research,
e-mail: sekisovag@mail.ru, ORCID ID: 0001-0001-5780-6150,
M.A. Byankin¹, Graduate Student, e-mail: maxbyanich@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0006-2632-585X,

V.S. Alekseev¹, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director
for Research and Innovation, e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8248-105X,

A.V. Rasskazova¹, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher,
e-mail: annbot87@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6998-8120,

¹ Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
a separate division of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia.

Corresponding author: A.G. Sekisov, e-mail: sekisovag@mail.ru.

Получена редакцией 13.04.2026; получена после рецензии 02.06.2026; принята к печати 10.08.2026.

Received by the editors 13.04.2026; received after the review 02.06.2026; accepted for printing 10.08.2026.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ
(специальный выпуск), смотри на www.gornaya-kniga.ru

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ ДОБЫЧИ

(2026, № 4, СБ 14, 16 с.)

Кравец Кирилл Дмитриевич — горный инженер, аспирант, НИТУ МИСИС, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru,
Герасимов Евгений Николаевич — горный инженер, директор института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО),
Козлова Ольга Юрьевна — канд. техн. наук, доцент, Московский технологический университет МИРЭА,
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru,
Агафонов Валерий Владимирович — д-р техн. наук, профессор, НИТУ МИСИС, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru.

DYNAMIC ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM OF A MINING ENTERPRISE WITH AN UNDERGROUND METHOD OF PRODUCTION

K.D. Kravets, Mining Engineer, Graduate Student, NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia,
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru,

E.N. Gerasimov, Mining Engineer, Director, Yakutnioproalmaz Institute of ALROSA (PAO), Mirny, Russia,
O.Yu. Kozlova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Moscow Technological University MIREA,
115787, Moscow, Russia, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru,

V.V. Agafonov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru.