



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МАЛОМАСШТАБНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЗОЛОТА ПРИ ПРОМЫВКЕ ПЕСКОВ

Чебан А.Ю.

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

Аннотация. Актуальность исследования. Сравнительно невысокие капитальные вложения в организацию россыпной добычи золота и возможность относительно быстрой окупаемости средств позволяют работать в данной сфере значительному количеству небольших горнодобывающих предприятий. Увеличение доли мелко-го золота в песках вовлекаемых в отработку россыпей предопределяет рост потерь металла с хвостами промывки. Снизить потери металла позволяют многостадийные технологии переработки песков, но приобретение и эксплуатация специального обогащательного оборудования малыми компаниями с учетом их небольшой производительности экономически не всегда целесообразно. Уменьшить потери металла возможно за счет более частого сполоска шлюзов промывочного прибора, однако использование данного решения для переработки всего объема песков приведет к существенному увеличению простоев обогащательного оборудования. **Цель работы.** Обоснование усовершенствованной технологической схемы освоения маломасштабного россыпного месторождения золота имеющимся обогащательным оборудованием с обеспечением снижения потерь металла за счет селективной выемки и раздельной последовательной переработки разнокачественных песков продуктивного пласта. **Результаты.** В статье предлагается вести добычу песков сложноструктурного выемочного блока с применением скрепер-дозера, при этом выемка обогащенных металлом песков ведется только скреперным ковшом, а рядовых песков – скреперным ковшом и бульдозерным отвалом. Разносортные пески складываются в отдельные штабели рядом с промывочным прибором, преимущественно производится промывка рядовых песков со сполоском шлюзов один раз в сутки, по мере накопления периодически производится промывка обогащенных металлом песков со сполоском шлюзов два раза в сутки. **Выводы.** Применение предлагаемой технологической схемы позволит существенно увеличить сквозное извлечение металла при использовании имеющегося оборудования.

Ключевые слова: продуктивный пласт, оконтуривание песков, селективная выемка, скрепер-дозер, промывка, мелкое золото, извлечение металла

© Чебан А.Ю., 2025

Для цитирования

Чебан А.Ю. Повышение эффективности освоения маломасштабных месторождений путем снижения потерь золота при промывке песков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №4. С. 5-13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-4-5-13>



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

INCREASING THE EFFICIENCY OF SMALL-SCALE DEPOSITS DEVELOPMENT BY REDUCING GOLD LOSSES DURING SAND WASHING

Cheban A.Yu.

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). Relatively low capital investments in organizing placer gold mining and the possibility of a relatively quick payback of funds allow a significant number of small mining enterprises to operate in this area. An increase in the share of fine gold in the sands involved in placer mining predetermines an increase in metal losses with rinsing tailings. Multi-stage sand processing technologies can reduce metal losses but the acquisition and operation of special enrichment equipment by small companies, given their low productivity, is not always economically feasible. It is possible to reduce metal losses by rinsing the sluices of the washing unit more frequently; however, using this solution to process the entire volume of sand will lead to a significant increase in the downtime of the enrichment equipment. **Objectives.** The research is aimed at justifying an improved technological scheme for the development of a small-scale gold placer using existing enrichment equipment, ensuring a reduction in metal losses due to selective extraction and separate sequential processing of different-quality sands of the productive formation. **Results.** The article proposes to extract sands from a complex-structured mining block using a scraper-dozer, with the extraction of metal-enriched sands being carried out only with a scraper bucket, and ordinary sands – with a scraper bucket and a bulldozer blade. Mixed-grade sands are stored in separate piles next to the washing unit; mainly, ordinary sands are washed with a sluice rinse once a day; as they accumulate, metal-enriched sands are washed periodically with a sluice rinse twice a day. **Conclusions.** The use of the proposed process flow will significantly increase the throughout recovery of metal using existing equipment.

Key words: productive formation, sand delineation, selective mining, scraper-dozer, washing, fine gold, metal recovery

For citation

Cheban A.Yu. Increasing the Efficiency of Small-Scale Deposits Development by Reducing Gold Losses During Sand Washing. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 4, pp. 5-13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-4-5-13>

Введение

Россыпные месторождения многих особо ценных и стратегически важных полезных ископаемых (золото, платина, алмазы, олово, титан, редкие металлы и др.) благодаря относительно небольшой стоимости освоения (по сравнению с рудными объектами), в связи со сравнительно неглубоким залеганием продуктивных пластов, дезинтегрированному состоянию извлекаемых из недр пород и простоте процессов обогащения песков являются весьма востребованными горнодобывающей промышленностью [1-4]. Так, на крупном золотодобывающем предприятии АО «Прииск Соловьевский», где в 2023 году из россыпных и коренных месторождений было добыто более 5 т золота, на россыпи пришлось 52% добытого металла и 60% полученной прибыли [5]. Возможность быстрого вовлечения россыпных месторождений в эксплуатацию и получения промышленного продукта, с небольшими сроками окупаемости вложенных средств предопределяет их опережающее освоение.

Согласно данным [1], доля россыпей в мировой структуре запасов и добычи составляет: для титана – 33 и 70% соответственно, для ниобия – 20 и 68%, для

золота – 10,2 и 19,9%, для тантала – 4 и 15%. Относительно невысокие капитальные вложения в организацию россыпной золотодобычи позволяют работать в этой сфере значительному количеству организаций. Так, по данным за 2021 год, в России из 658 золотодобывающих предприятий 570 полностью или частично связаны с россыпями, при этом 422 из них являются небольшими артелями и компаниями с годовым объемом добычи до 100 кг [6]. В связи с активной отработкой россыпей качество минерально-сырьевой базы россыпного золота неуклонно снижается [7, 8]. Несмотря на снижение содержания золота в песках вовлекаемых в отработку месторождений, количество добываемого россыпного золота продолжает увеличиваться. Если в 2018 году в РФ из россыпей было получено 75,56 т, то в 2021 году – 82,84 т, то есть рост составил 9,6% [9].

Сохранение и увеличение добычи металла достигается прежде всего за счет ускоренного возрастания объемов перерабатываемой минеральной массы с применением все более мощного оборудования, при этом увеличение доли мелких золотин (менее 0,5 мм) в песках предопределяет рост потерь металла с хвостами промывки [10, 12]. Таким образом, на современном

этапе вопрос повышения эффективности производства за счет снижения потерь мелкого золота при разработке сложноструктурных россыпных месторождений становится все более актуальным [13, 14].

Состояние вопроса и постановка проблемы

На многих россыпных месторождениях золото в песках продуктивных пластов распределено весьма неравномерно как в плане, так и по вертикали с содержаниями от 0,04-0,05 до 3-5 г/м³, в некоторых случаях в отдельных небольших по объему особо богатых включениях содержание полезного компонента может достигать десятков граммов на кубометр. При этом основная часть продуктивного пласта представлена песками рядового качества с содержанием золота не более 0,3-0,5 г/м³. Несмотря на относительно небольшой объем, обогащенные полезным компонентом пески содержат существенную долю золота сложноструктурных месторождений [15, 16]. Так, в работе [15] указывается, что на сложноструктурных россыпях на долю обогащенных металлом включений приходится 25-40% площади и 65-80% запасов золота. Согласно исследованию [8], на месторождении Большой Кураны в 20% относительно богатых песков с содержанием золота более 0,3 г/м³ находится 62% металла россыпи.

При разработке россыпей обычно ведется валовая выемка и подача песков сложноструктурных продуктивных пластов к промывочным установкам, в результате чего минеральное сырье с различным содержанием металла промывается в одном режиме, без учета изменчивости его геолого-технологических характеристик, что отрицательно сказывается на уровне извлечения [12]. Повысить извлечение металла при промывке возможно путем применения многостадийных схем переработки песков, включающих отсадочные машины, центробежные концентраторы, винтовые сепараторы и другое оборудование [10, 17].

Так, если при использовании гидроэлеваторных шлюзовых приборов (ПГШ) потери золота крупностью менее -0,25 мм составляют до 50-70%, а металла крупностью -0,50+0,25 мм – до 30%, то при использовании в схеме отсадочных машин потери металла данных классов крупности составляют всего 10 и 5% соответственно [10]. Однако применение развитых (многостадийных) технологических схем промывки ведет к дополнительным расходам, в связи с чем многостадийная переработка всего объема минерального сырья может оказаться экономически нецелесообразной. Также необходимо отметить, что применение некоторого сложного оборудования, в частности центробежных концентраторов Knelson, требует использования относительно чистой воды и привлечения высококвалифицированного персонала [17, 18].

Очевидно, что применение сложных и затратных многостадийных схем, обеспечивающих наиболее полное извлечение металла, целесообразно прежде всего при переработке песков с повышенным содер-

жанием золота. В работах [12, 19] для освоения сложноструктурных россыпных месторождений золота предложены технологические схемы, предполагающие раздельную выемку и переработку песков с различным содержанием металла. При этом осуществляется опережающая селективная выемка богатых песков, которая ведется с применением бульдозеров или колесных скреперов небольших типоразмеров. Богатые пески, составляющие незначительную долю сложноструктурного выемочного блока, транспортируются к комплексу многостадийного обогащения, который может принимать минеральное сырье повышенного качества с нескольких добычных участков.

Выемка основного объема песков с рядовым содержанием полезного компонента ведется высокопроизводительными бульдозерами с перемещением минеральной массы на одностадийное обогащение по шлюзовой технологии. Данные схемы с применением дорогостоящего многостадийного обогащения только для богатых песков обеспечивают существенный прирост извлечения металла при небольших дополнительных затратах, поскольку предполагается, что комплекс многостадийного обогащения работает с достаточно высокой производительностью, обеспечивая переработку богатых песков с нескольких участков, это предопределяет возможность его эффективного использования на достаточно крупных предприятиях россыпной золотодобычи. Недостатком данных схем является необходимость применения на добычных работах различного оборудования относительно небольшой производительности, что усложняет организацию процесса и увеличивает себестоимость работ. Также внедрение многостадийных технологий ограничивается консерватизмом большинства недропользователей, для которых основными принципами при осуществлении добычи россыпного золота являются высокая производительность ведения работ, простота, дешевизна, низкая энерго- и водоемкость.

Необходимо отметить, что многие небольшие предприятия россыпной золотодобычи имеют на своем балансе всего один-два промывочных прибора и несколько бульдозеров. Приобретение, наладка и обслуживание оборудования для формирования схем с развитой переработкой песков для таких артелей с их ограниченными финансовыми возможностями будет затруднительна и экономически нецелесообразна. Проведенное автором исследование технического оснащения предприятий, ведущих разработку россыпных месторождений в Приамурье, показало, что из 51-й рассмотренной компании 14 имеют по одному промывочному прибору, 8 – по два, наиболее часто используются промывочные приборы типа ПГШ. Этими 22-мя предприятиями, имеющими по 1-2 промывочных прибора, суммарно добывается около 900 кг металла, при этом для каждой артели объем промываемых за сезон песков варьирует от 30 до 250 тыс. м³, объем торфов от 100 до 700 тыс. м³, количе-

ство добываемого золота от 7 до 80 кг (в среднем 30-50 кг), производительность используемых промывочных приборов составляет от 25 до 70 м³/ч. Суммарно на 22-х предприятиях задействовано 30 сверхтяжелых бульдозеров с мощностью двигателя более 300 кВт (ЧЕТРА Т35, ЧЕТРА Т25, Komatsu D-355 и др.), 41 тяжелый бульдозер с мощностью двигателя более 150 кВт (ЧЕТРА Т20, Komatsu D-155, Shantui SD-22 и др.) и 57 средних бульдозеров (Т-170, ЧЕТРА Т11, Komatsu D-65, Shantui SD-16 и др.). В небольшом количестве на данных предприятиях используются одноковшовые погрузчики и экскаваторы, а также некоторое другое оборудование.

Уменьшить затраты на ведение вскрышных и добычных работ при освоении россыпных месторождений позволяет применение нового типа выемочно-транспортирующего оборудования – бульдозерно-скреперных агрегатов (скрепер-дозеров), у которых в средней части машины между гусеницами ходовой части установлен скреперный ковш, а в передней части – бульдозерный отвал. Данный тип машин в разное время выпускался несколькими производителями: SR-280p с вместимостью ковша 8 м³ (Япония); SR-85 – ковш 8,5 м³ (Германия); Т-18 Tiger – ковш 18 м³ (Швейцария); ДЗ-194 – ковш 15 м³ (Россия) [20]. Конструкция скрепер-дозеров позволяет одновременно транспортировать породу в скреперном ковше и перед бульдозерным отвалом, в результате чего удельные энергозатраты на перемещение значительно меньше, так как около 60% перемещаемой породы находится в скреперном ковше.

Проведенные в исследовании [21] сравнительные технико-экономические расчеты работы скрепер-дозера ДЗ-194 и бульдозера ЧЕТРА Т35 (сопоставимых по массе, мощности и объему транспортируемых песков) показали, что при дальности транспортировки более 50–60 м предпочтительнее использование скрепер-дозера, в связи с чем в парк выемочно-транспортирующих машин при его формировании целесообразно наряду с бульдозерами включать и скрепер-дозеры.

Необходимо отметить, что некоторые мелкие золотодобывающие предприятия, несмотря на относительно высокое содержание золота в разрабатываемых маломасштабных россыпях, работают на грани рентабельности, это связано прежде всего с невысокой производительностью на одного работающего и значительными потерями металла при промывке [12]. Существенно снизить потери металла без приобретения нового или модернизации имеющегося обогащающего оборудования возможно за счет увеличения частоты сполоска шлюзов. В процессе промывки песков выпавшие из потока на слой разрыхленной минеральной постели крупные тяжелые зерна золота постепенно проникают на дно шлюза в соответствии с сегрегационным механизмом расслоения, а мелкие тяжелые зерна передвигаются в результате периодического взвешивания в потоке, оседания, скольжения

и опять взвешивания, они удерживаются минеральной постелью (за счет проникновения в поры минеральной постели, размер которых больше размера мелких золотин) с постепенным сегрегационным продвижением на дно шлюза. Удерживающая способность минеральной постели определяется объемом ее пор, в первоначальном состоянии пористость составляет около 40%, по мере заполнения постели тяжелыми зернами ее пористость постепенно снижается до примерно 15%, после чего она практически перестает удерживать мелкое золото.

Таким образом, при увеличении длительности интервалов между сполосками шлюзов потери металла значительно возрастают, согласно данным работы [22] при интервалах сполоска 9, 16,5 и 32 ч потери золота класса крупности -1,2+0,6 мм составляют 0,62, 3,79 и 10,6% соответственно; класса крупности -0,6+0,4 мм – 3,66, 5,04, 13,4%; -0,4+0,2 мм – 21,2, 25,3, 42,8%; а для класса крупности -0,2 мм – 24,4, 39,2 и 83,4%. В работе [23] указывается, что за первые 10-12 ч работы улавливающая способность шлюза снижается на 10-20%, а после 22 ч работы – на 50-80%, в результате чего при сполоске шлюзов один раз в сутки потери за счет сноса мелких золотин могут достигать 40-50% от объема снятого со шлюза драгметалла. В исследовании [24] выявлено, что при промывке песков на шлюзах в интервале 5-10 ч извлечение падает на 0,1-1,5% в час, а после 10 ч – на 0,4-4,2% в час, что также подтверждает прогрессирующий характер потерь металла. Таким образом, при увеличении частоты сполоска шлюзов с одного до двух раз в сутки возможно ожидать уменьшения потерь при промывке не менее чем в два раза.

Лучшие результаты по извлечению металла из песков обеспечивают схемы с частым сполоском шлюзов (2-3 раза в сутки и более), однако в связи с тем, что продолжительность каждого сполоска шлюзов составляет около 1,0-1,5 ч, это ведет к значительным простоям промприбора, а следовательно, уменьшению объема промываемых за сезон песков и количества получаемого золота. Снизить затраты времени на сполоск позволяют поворотные механические шлюзы [25], известны конструкции шлюзов с непрерывной разгрузкой концентратов, недостатками таких устройств являются более высокая сложность и стоимость, кроме того, при использовании шлюзов с непрерывной разгрузкой получается слишком бедный концентрат, что в значительной степени удорожает процессы при его последующей доводке [22].

Рациональный интервал сполоска шлюзов определяется экспериментально и зависит прежде всего от содержания металла в промываемых песках, при высоких содержаниях минеральная постель будет заполняться быстрее, при низких содержаниях – медленнее. В случае подачи на промывку песков с неконтролируемым содержанием золота и наличием в рядовых песках включений богатых песков будет происходить более быстрое заполнение минеральной

постели, в результате принятый режим сполоска не будет оптимальным и потери металла из-за переполненной минеральной постели будут выше нормативных [26].

Целью исследования является разработка усовершенствованной технологической схемы освоения маломасштабного россыпного месторождения золота имеющимся обогатительным оборудованием с обеспечением существенного снижения потерь металла за счет селективной выемки и раздельной последовательной переработки разнокачественных песков продуктивного пласта.

Результаты исследования

В Институте горного дела ДВО РАН обоснована усовершенствованная технология разработки маломасштабного сложноструктурного месторождения россыпного золота, включающая вскрытие продуктивного пласта, уточнение контуров включений песков с повышенным содержанием золота, выявленных в ходе первой стадии эксплуатационной разведки. Как показывает практика освоения россыпных месторождений, в большинстве случаев сгущение разведочной сети увеличивает количество обогащенных полезным компонентом зон при одновременном уменьшении их площади [15]. На основании уточненных данных проводится оконтуривание включений песков с повышенным содержанием металла 1 в плане и по вертикали, селективная выемка и транспортировка разноразных песков продуктивного пласта 2 осуществляется посредством скрепер-дозера 3 (см. рисунок).

В случае если в продуктивном пласте 2 слой песков с повышенным содержанием металла 1 покрыт песками рядового качества 4, то первоначально скре-

пер-дозером 3 производится выемка рядовых песков 4 посредством скреперного ковша 5 и бульдозерного отвала 6 с их транспортировкой в штабель 7, находящийся рядом с промывочным прибором 8, откуда одноковшовым погрузчиком 9 пески рядового качества 4 подаются на промывку, при этом сполоск шлюзов промывочного прибора 8 производится один раз в сутки.

После обнажения песков с повышенным содержанием металла 1 производится их селективная выемка скреперным ковшом 5. При движении скрепер-дозера 3 в сторону промывочного прибора 8 с заполненным скреперным ковшом 5 осуществляется выемка и перемещение рядовых песков 4 бульдозерным отвалом 6. В случае перемещения скрепер-дозером 3 разноразных песков первоначально осуществляется подача рядовых песков 4 бульдозерным отвалом 6 к штабелю 7, затем скрепер-дозер 3 перемещается к специальному штабелю 10, где из скреперного ковша 5 выгружаются пески с повышенным содержанием металла 1. В связи с тем, что в выемочном блоке преобладают пески рядового качества 4, то преимущественно осуществляется их выемка, транспортировка и промывка, с постепенным накоплением в специальном штабеле 10 минерального сырья повышенного качества, переработка которого происходит периодически (по мере накопления требуемого объема) с подачей одноковшовым погрузчиком 9 на тот же промывочный прибор 8, но со сполоском шлюзов один раз в смену (два раза в сутки). В процессе промывки песков повышенного качества скрепер-дозером 3 ведется выемка и транспортировка минерального сырья к промывочному прибору 8 из наиболее удаленных частей выемочного блока.

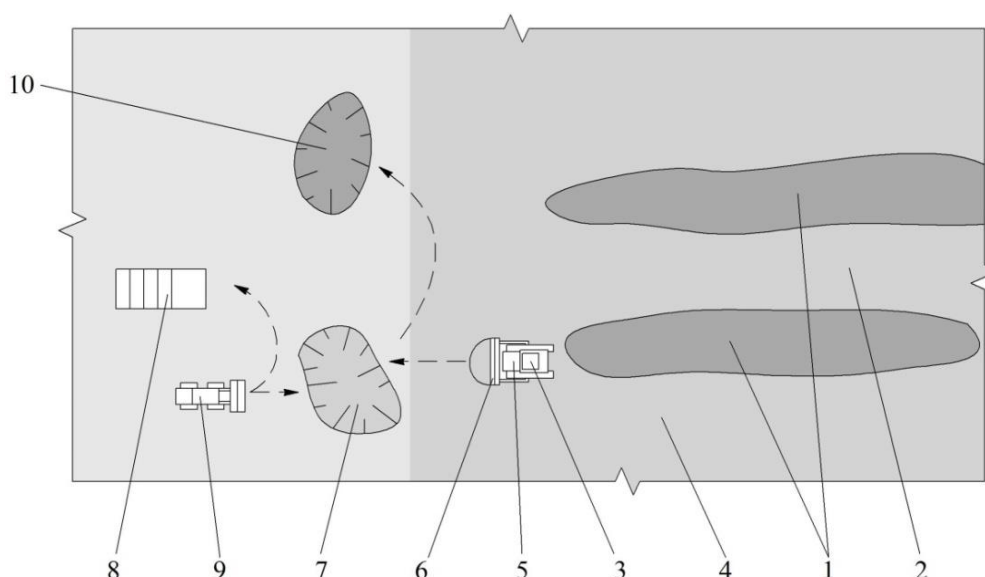


Рисунок. Схема выемки разноразных песков сложноструктурного выемочного блока
Figure. Scheme of extraction of mixed-grade sand of complex structure mine block

Автором проведены сравнительные технико-экономические расчеты предлагаемой технологии освоения сложноструктурной россыпи и традиционной технологии на примере выемочного блока одного из маломасштабных россыпных месторождений золота Амурской области. Согласно данным эксплуатационной разведки, среднее содержание металла в интервалах опробования по блоку составляет $0,41 \text{ г/м}^3$, при этом содержание золота в продуктивном пласте изменяется от $0,05 \text{ г/м}^3$ (бортовое содержание) до $3-4 \text{ г/м}^3$. Ситовый анализ золота показал следующее распределение металла по классам крупности: $+2 \text{ мм} - 2,9\%$; $-2+1 \text{ мм} - 23,4\%$; $-1+0,5 \text{ мм} - 36,8\%$; $-0,5+0,2 \text{ мм} - 29,5\%$; $-0,2 \text{ мм} - 7,4\%$. Мощность продуктивного пласта изменяется от 1,2 до 2,4 м. На основании данных эксплуатационной разведки было произведено районирование продуктивного пласта в плане и по вертикали с выделением зон песков с повышенным содержанием золота (более $0,4 \text{ г/м}^3$). Доля песков с повышенным содержанием металла составила 17,5% при среднем содержании золота $1,27 \text{ г/м}^3$, при этом в них содержится 54,3% металла рассматриваемого выемочного блока. Среднее содержание золота в оставшихся песках рядового качества составляет $0,23 \text{ г/м}^3$. С учетом данных по зависимости извлечения золота от его крупности [10, 19] был определен средневзвешенный коэффициент извлечения золота с традиционным интервалом сполоска шлюзов один раз в сутки, который составил $k_1^{\text{сп}} = 0,821$. Высокие потери при промывке объясняются наличием большого количества мелкого золота в песках россыпи.

Общий коэффициент извлечения золота при раздельной переработке обогащенных и рядовых песков с различными интервалами сполоска шлюзов промывочного прибора может быть определен по зависимости

$$K_{\text{общ}} = \frac{k_1^{\text{сп}} Q_p + \left[k_1^{\text{сп}} + (1 - k_1^{\text{сп}}) \left(1 - \frac{1}{K_{\text{сн}}} \right) \right] Q_{\text{об}}}{100}, \quad (1)$$

где $Q_p = 45,7\%$, $Q_{\text{об}} = 54,3\%$ – доля металла, содержащегося соответственно в рядовых и обогащенных песках; $K_{\text{сн}}$ – коэффициент, учитывающий снижение потерь металла при увеличении количества сполосков шлюзов с одного до двух раз в сутки.

С учетом снижения потерь золота в два раза при увеличении частоты сполоска шлюзов с одного до двух раз в сутки при промывке обогащенных песков извлечение золота составит 87,4%, что существенно выше, чем при промывке всего объема песков продуктивного пласта на промывочном приборе со сполоском шлюзов один раз в сутки. Таким образом, извлечение золота увеличится в 1,065 раза – с 82,1 до 87,4%.

Необходимо отметить, что применение предлагаемой технологии приведет к уменьшению объема промываемых песков в связи с затратами времени на

дополнительный сполоск шлюзов. С учетом того, что время на один сполоск составляет 1,0-1,5 ч или 5-7% рабочего времени промывочного прибора в сутки, то при осуществлении второго сполоска шлюзов время промывки песков сократится на 5-7% с аналогичным уменьшением объема промываемых песков. Относительная величина потерь рабочего времени на сполоск шлюзов при осуществлении предлагаемой технологии может быть определена по зависимости

$$T_{\text{сп}}^{\text{np}} = V_p t_{\text{сп}} n_p + V_{\text{об}} t_{\text{сп}} n_{\text{об}}, \quad (2)$$

где $V_p = 0,825$, $V_{\text{об}} = 0,175$ – доля рядовых и обогащенных песков соответственно в рассматриваемом выемочном блоке; $t_{\text{сп}} = 6\%$ – доля времени, затрачиваемого на один сполоск шлюзов промывочного прибора; $n_p = 1$, $n_{\text{об}} = 2$ – число сполосков шлюзов в сутки при промывке рядовых и обогащенных песков соответственно.

Расчет по предложенной зависимости показал, что относительная величина потерь рабочего времени на сполоск шлюзов составит 7,05% вместо 6% при промывке всего объема песков с одноразовым сполоском шлюзов, следовательно, снижение общего объема промываемых песков составит около 1%. С учетом увеличения извлечения золота из песков в 1,065 раза, даже при снижении объема промываемых песков на 1%, количество получаемого за промывочный сезон металла будет в 1,054 раза больше, чем при традиционной технологии. Таким образом, даже если укрупненно принять, что затраты на добычу и переработку песков по традиционной и предлагаемой технологии равны между собой (хотя с учетом того, что при использовании предлагаемой технологии объем промываемых и добываемых песков снизится на 1%, соответственно, уменьшатся и затраты, в частности на топливо для выемочно-транспортирующих машин и промывочного прибора), то получается, что при тех же издержках будет получено на 5,4% больше металла. Если принять, что при использовании традиционной технологии предприятие работает с рентабельностью 20%, то внедрение предлагаемой технологии позволит обеспечить рентабельность на уровне 28,6%, то есть увеличит данный показатель в 1,43 раза.

Выводы

Предложенная усовершенствованная технология обеспечивает повышение сквозного извлечения золота из песков россыпей. Разработка сложноструктурного выемочного блока ведется скрепер-дозером с селективной выемкой разноразмерных песков, складированных в отдельные штабеля рядом с промывочным прибором, при этом выемка обогащенных металлом песков ведется только скреперным ковшом скрепер-дозера, а рядовых песков – скреперным ковшом и бульдозерным отвалом. Обогащение разноразмерных

песков, подаваемых из штабелей одноковшовым погрузчиком, осуществляется последовательно на одном и том же промывочном приборе.

Преимущественно ведется промывка рядовых песков со сполоском шлюзов один раз в сутки, по мере накопления периодически производится промывка обогащенных металлом песков со сполоском шлюзов два раза в сутки. Более частый сполоск шлюзов при переработке обогащенных металлом песков обеспечивает существенное снижение потерь золота с хвостами промывки.

В работе предложены зависимости по определению общего коэффициента извлечения металла, а также относительной величины потерь рабочего времени на сполоск шлюзов при использовании предлагаемой технологии. Проведенные расчеты по возможности использования усовершенствованной технологической схемы на одной из маломасштабных россыпей с учетом ее горно-геологических особенностей, содержания золота в песках и его ситового анализа показали, что селективная выемка разноразмерных песков с их последующей раздельной переработкой на одном промывочном приборе с различной частотой сполоска шлюзов позволит увеличить извлечение металла более чем на 5%, что обеспечит значительное повышение рентабельности работы горнодобывающего предприятия.

Список источников

1. Лаломов А.В., Бочнева А.А. Россыпные месторождения России как источник стратегических видов минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2024. №3. С. 5-17.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. АО «Прииск Соловьевский» – современное состояние крупнейшего в России дражного флота // Золото и технологии. 2024. №2. С. 86-89.
6. Луняшин П.Д. Значение россыпной золотодобычи для России. Ч. 2 // Золотодобыча. 2023. №8. С. 49-53.
7. Батугина Н.С., Хоютанов Е.А., Ткач С.М. Оценка влияния количества горной массы на единицу металла на эффективность освоения россыпных месторождений золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №12-1. С. 39-47.
8. Ermakov S.A., Burakov A.M. Complex-structure gold placer mining in Yakutia // Journal of Mining Science. 2013, vol. 49, no. 2, pp. 273-278.
9. Башмачников А. Производство золота в России – итоги 2021 года // Золото и технологии. 2022. №2. С. 18-22.
10. Замятин О.В., Маньков В.М. Мелкое золото в россыпях: проблемы оценки и извлечения // Горный журнал. 2011. №4. С. 22-26.
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. Cheban A.Yu. Improvement of gold-bearing sand mining and processing at structurally complex placers // Journal of Mining Science. 2024, vol. 60, no. 3, pp. 434-442.
13. Teschner B., Smith N. M., Borrillo-Hutter T., Zira Quaghe John, Wong T.E. How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miner's gravity separation systems // Minerals Engineering. 2017, vol. 105, pp. 44-51.
14. Holley E.A., Yu Ting Yu, Navarre-Sitchler A. Winter-ton J. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach // Hydrometallurgy. 2018, vol. 181, pp. 130–142.
15. Батугин С.А., Черный Е.Д. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений: монография. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. 344 с.
16. Chanderman L., Dohm C.E., Minnitt R.C.A. 3D geological modelling and resource estimation for a gold deposit in Mali // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017, vol. 117. no. 2, pp. 189-197.
17. 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.
18. 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.
19. Чебан А.Ю. Усовершенствованная технология освоения сложноструктурных россыпей с раздельной выемкой и переработкой песков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №4. С. 15-22.
20. Шемякин С.А., Иванченко С.Н., Мамаев Ю.А. Ведение открытых горных пород на основе совершенствования выемки пород. М.: Горная книга, 2006. 315 с.
21. Анализ эффективности применения выемочно-транспортирующих машин на предприятиях Хабаровского края, разрабатывающих россыпные месторождения / Чебан А.Ю., Рассказов И.Ю., Шемякин С.А., Корнеева С.И. // Маркшейдерия и недропользование. 2012. №5. С. 34-37.
22. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М.: Недра, 1993. 350 с.
23. Пат. на полезную модель 187582 Российская Федерация, МПК В03В 5/70. Сдвоенный линейный шлюз трапециевидного сечения для обогащения песков россыпных месторождений / Е.Д. Кулдай, С.Н. Курьшин, Л.Е. Кулдай, В.Д. Лукьянов, П.Н. Ахреев;

- заявитель и патентообладатель ООО «Градион». № 2018146170; заявл. 25.12.2018; опубл. 12.03.2019.
24. Замятин О.В. Обогащение золотосодержащих песков на шлюзах. Основные закономерности и технологические возможности процесса // Анализ, добыча и переработка полезных ископаемых: сб. науч. тр. Иркутск: Иргиредмет, 1998.
 25. Мязин В.П. Новые технологические решения по учащенному сполоску концентрата со шлюзов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. №1. С. 238-240.
 26. Мирзеханов Г.С. Оценка потерь при отработке россыпных месторождений золота и критерий прогноза ресурсного потенциала техногенных комплексов. Хабаровск: ДВИМС МПР РФ, 2002. 100 с.
- ### References
1. Lalomov A.V., Bochnova A.A. Placer deposits of Russia as a source of strategic mineral raw materials. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie* [Mineral resources of Russia. Economy and management]. 2024;(3):5-17. (In Russ.)
 2. 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.
 3. Cheban A.Yu., Sekisov A.G. Combined technology for the development of complex-structured deep-lying gold placers. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023;21(1):24-31. (In Russ.)
 4. 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.
 5. Priisk Solovievsky JSC: the current state of the largest dredging fleet in Russia. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and technology]. 2024;(2):86-89. (In Russ.)
 6. Lunyashin P.D. The importance of placer gold mining for Russia. Part 2. *Zolotodobycha* [Gold mining]. 2023;(8):49-53. (In Russ.)
 7. Batugina N.S., Khoyutanov E.A., Tkach S.M. Influence of the ratio between amount of overburden and unit of gold produced on the efficiency of gold placer mining. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2021;(12-1):39-47. (In Russ.)
 8. Ermakov S.A., Burakov A.M. Complex-structure gold placer mining in Yakutia. *Journal of Mining Science*. 2013;49(2):273-278.
 9. Bashmachnikov A. Gold production in Russia: results of 2021. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and technology]. 2022;(2):18-22. (In Russ.)
 10. Zamyatin O.V., Mankov V.M. Fine gold in placers: problems of estimation and extraction. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal]. 2011;(4):22-26. (In Russ.)
 11. Rasskazov I.Yu., Cheban A.Yu., Litvintsev V.S. Analysis of technical equipment of mining enterprises of Khabarovsk Region and Jewish Autonomous Region. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal]. 2013;(2):30-34. (In Russ.)
 12. Cheban A.Yu. Improvement of gold-bearing sand mining and processing at structurally complex placers. *Journal of Mining Science*. 2024;60(3):434-442.
 13. Teschner B., Smith N. M., Borrillo-Hutter T., Zira Quaghe John, Wong T.E. How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miner's gravity separation systems. *Minerals Engineering*. 2017;105:44-51.
 14. Holley E.A., Yu Ting Yu, Navarre-Sitchler A. Winter-ton J. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach. *Hydrometallurgy*. 2018;181:130-142.
 15. Batugin S.A., Cherny E.D. *Teoreticheskie osnovy opytovaniya i otsenki zapasov mestorozhdeniy* [Theoretical foundations of sampling and assessment of deposit reserves]. Novosibirsk: Nauka, publishing company of RAS, 1998, 344 p. (In Russ.)
 16. Chanderman L., Dohm C.E., Minnitt R.C.A. 3D geological modelling and resource estimation for a gold deposit in Mali. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017;117(2):189-197.
 17. 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.
 18. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Minerals Engineering*. 2017;112:57-67.
 19. Cheban A.Yu. Improved technology for development of complex-structural placers with separate excavation and processing of sands. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024;22(4):15-22. (In Russ.)
 20. Shemyakin S.A., Ivanchenko S.N., Mamaev Yu.A. *Vedenie otkrytykh gornyh porod na osnove sovershenstvovaniya vyemki porod* [Open pit mining based on improved rock excavation]. Moscow: Gornaya kniga, 2006, 315 p. (In Russ.)
 21. Cheban A.Yu., Rasskazov I.Yu., Shemyakin S.A., Korneeva S.I. The analysis of the effectiveness of the use of mining-and-hauling machines at the enterprises engaged in development of placer deposits in Khabarovsk Region. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine surveying and subsurface use]. 2012;(5):34-37. (In Russ.)
 22. Shokhin V.N., Lopatin A.G. *Gravitatsionnye metody obogasheniya* [Gravity enrichment methods]. Moscow: Nedra, 1993, 350 p. (In Russ.)
 23. Kuldai E.D., Kuryshkin S.N., Kuldai L.E., Lukyanov V.D., Akhreyev P.N. *Sdvoenniy lineiniy shlyuz trapetsievidnogo secheniya dlya obogasheniya peskov rossypnykh mestorozhdeniy* [Double linear trapezoidal sluice for enrichment of placer sands]. Patent RU, no. 187582, 2019. (In Russ.)
 24. Zamyatin O.V. Enrichment of gold-bearing sands at sluices. Basic patterns and technological capabilities of the process. *Analiz, dobycha i pererabotka poleznykh iskopaemykh: sb. nauch.tr.* [Analysis, extraction and processing of minerals: proceedings]. Irkutsk: Irgiredmet, 1998. (In Russ.)

25. Myazin V.P. New technological solutions for increased rinse of concentrate from sluices. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2003;(1):238-240. (In Russ.)
26. Mirzekhanov G.S. *Otsenka poter pri otrabotke rossypanyh mestorozhdeniy zolota i kriteriy prognoza resursnogo potentsiala tehnogennykh kompleksov* [Estimation of losses during development of placer gold deposits and criterion for forecasting the resource potential of technogenic complexes]. Khabarovsk: DVIMS MPR RF, 2002, 100 p. (In Russ.)

Поступила 06.03.2025; принята к публикации 27.05.2025; опубликована 25.12.2025
Submitted 06/03/2025; revised 27/05/2025; published 25/12/2025

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. ORCID 0000-0003-2707-626X

Anton Yu. Cheban – Leading 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. ORCID 0000-0003-2707-626X