

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОТЕРИ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К. А. Журавлев¹, А. Д. Васюта¹

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия,
e-mail: kirill_dguravlev@mail.ru

Аннотация: Цель данной статьи заключается в исследовании факторов, воздействующих на потери драгоценных металлов в процессе отработки месторождений россыпного золота. Россыпные месторождения золота представляют собой одни из наиболее распространенных и значимых источников драгоценных металлов. Тем не менее, применение неоптимальных методов отработки, недостаточная организация процессов и другие факторы могут привести к существенным потерям ценных металлов. В ходе исследования был проведен обширный обзор существующих методов и технологий отработки россыпных месторождений с целью выявления основных источников потерь металлов. Анализировались различные технические аспекты, включая применение современного оборудования, эффективность процессов обогащения и извлечения золота, а также оценивались разнообразие факторы, воздействующие на общую эффективность процессов отработки. В результате исследования выявлены ключевые факторы, такие как недостаточная эффективность оборудования и неэффективные методы разделения золотоносного песка, которые способствуют потерям драгоценных металлов. В данной статье представлены рекомендации и методы для улучшения процессов разработки, снижения потерь и повышения общей эффективности добычи драгоценных металлов.

Ключевые слова: анализ, факторы, потери, россыпные месторождения, золото, организационные аспекты, технологии, эффективность процессов, потери золота, инновации, оптимизация.

Благодарности: Исследования проводились с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075–15–2021–663.

Для цитирования: Журавлев К. А., Васюта А. Д. Анализ факторов, влияющих на потери драгоценных металлов при разработке россыпных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12-2. – С. 53–63. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_53.

Analysis of factors influencing losses of precious metals during alluvial deposit exploitation

K. A. Zhuravlev¹, A. D. Vasyuta¹

¹ Institute Of Mining, Far Eastern Branch, Russian Academy Of Sciences, Khabarovsk, Russia.
E-mail: kirill_dguravlev@mail.ru

Abstract: This article is dedicated to the analysis of factors influencing the losses of precious metals (e.g., gold) during the exploitation of alluvial deposits. Alluvial gold deposits represent one of the most common and significant sources of precious metals. Nevertheless, suboptimal mining methods, poor process organization, and other factors can lead to substantial losses of valuable metals. A review of existing methods and technologies for mining alluvial deposits was conducted to identify the primary sources of metal losses. Both technical and organizational aspects were analyzed, including the use of modern equipment, the efficiency of various exploration, enrichment, and gold extraction methods, as well as factors affecting process efficiency. The study revealed key factors contributing to the losses of precious metals, such as insufficient accuracy of geological exploration and ineffective methods of gold-bearing ore separation. Recommendations and methods to improve mining processes, reduce losses, and enhance overall efficiency in the extraction of precious metals were proposed.

Key words: analysis, factors, losses, placer deposits, gold, organizational aspects, technologies, process efficiency, gold losses, innovation, optimization.

Acknowledgments: The research is carried out using the resources of the Center for Collective Technical Equipment “Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences”, financed by the Russian Federation Lyceum of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075–15–2021–663.

For citation: Zhuravlev K. A., Vasyuta A. D. Analysis of factors influencing losses of precious metals during alluvial deposit exploitation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12-1):53–63. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_53.

Введение

Масштабы проявлений россыпной золотоносности в Российской Федерации не имеют аналогов по обширности площадей и генетическим типам ни на одном из континентов. Добыча россыпного золота является традиционной отраслью экономики Дальнего Востока России практически с момента освоения этой территории. В течение более чем вековой истории из россыпей юга Дальнего Востока извлечено уже более 1500 т ценного металла. Доля добычи золота из россыпей в общем объеме добычи золота в России составляла в конце XX века 70–75 %, однако

в начале третьего тысячелетия наметился определенный спад, связанный, в первую очередь, с более активным вовлечением крупных рудных месторождений. В настоящее время уровень добычи золота из россыпей во многих регионах Дальневосточного федерального округа остается на уровне 7–30 % от общей добычи, за исключением Республики Саха (Якутия) и Магаданской области, где добыча россыпного золота сопоставима с добычей из рудных месторождений. Разработка россыпных месторождений благородных металлов становится нерентабельной в условиях отсутствия нового оборудо-

вания и его большой стоимости, снижения объемов геологоразведочных работ, малого использования предприятиями научных исследований, недостаточного внедрения новых идей, технологий, нетрадиционных подходов к освоению россыпных месторождений, а также отсутствия оценки комплексной металлогенности [1–3].

Простые по строению и легкообогатяемые россыпные месторождения золота на Дальнем Востоке и в России в целом к настоящему времени уже отработаны. Для поддержания объемов добычи россыпного золота все чаще в эксплуатацию вовлекаются месторождения со сложными горно-геологическими характеристиками, находящиеся в труднодоступных неосвоенных районах, содержащие значительное количество мелкого и тонкого золота, а также глины в добываемых песках. По мнению экспертов, одной из причин такого положения является снижение объемов региональных поисковых работ, финансируемых за счет средств федерального бюджета. Эта проблема является общей для ведущих золотодобывающих регионов и заключается в недостаточных объемах геологоразведочных работ и обеспечении предприятий запасами сырья.

Россыпная золотодобыча играет ключевую роль в обеспечении основной занятости в наиболее удаленных регионах России, причем более 500 организаций, занимающиеся этой деятельностью, обеспечивают работой более 29 тысяч человек. Особенно значительное влияние россыпная золотодобыча оказывает на Хабаровский край, где около 3-х из 10 тысяч человек, занятых в добыче полезных ископаемых, работают именно в россыпной золотодобыче. Социальная значимость этой отрасли, обеспечиваемые ею рабочие места и налоговые поступления

делают замену этой деятельности в ближайшие годы невозможной. Без россыпей огромные территории Крайнего Севера и Дальнего Востока станут полностью безлюдными, что может иметь катастрофические социальные и экономические последствия.

Решение проблемы разработки россыпных месторождений, включая их техногенные комплексы, связаны с детальным исследованием закономерностей изменения (регулируемости) параметров технологических процессов применяемых технологий и горного оборудования и с необходимостью учета особенностей комплексного вещественного состава песков россыпей, их гранулометрического состава, ситового состава золота и других полезных компонентов, глинистостью песков и др.

При всех положительных аспектах россыпной золотодобычи известны также ее недостатки. При промывке песков россыпных месторождений золота с использованием шлюзовых приборов возникают потери тонкого и мелкого золота. На некоторых месторождениях эти потери могут достигать 15–30 % от общего объема добычи [4–6].

Россыпи осваиваются открытым, подземным, подводным и комбинированным способами, причем каждый способ имеет свою область применения в зависимости от масштабов месторождения, состава перекрывающих пород и продуктивных песков, криогенной структуры, пространственного расположения россыпи, характера рельефа местности, наличия водотоков и других факторов. Наибольшее распространение на Дальнем Востоке имеет открытый раздельный способ разработки россыпных месторождений золота, при котором подготовка золотосодержащих песков к обогащению производится

на гидровашгердах с дезинтеграцией и грубой классификацией по классу крупности до 120 мм. Подрешетный продукт гидровашгерда подается гидроэлеватором на обогатительную установку со шлюзами глубокого наполнения [7–10]. При этом потери золота при обогащении крупнозернистого материала достигают 25–40 %, причем потери фракции –0,25 мм – 70–80 %, фракции +2,0 мм – 2–5 %.

Полнота извлечения золота из россыпных месторождений определяется совместным влиянием различных факторов, в той или иной мере проявляющихся в процессе освоения месторождения. Выделяются более 14 производственно-геологических факторов, влияние которых на потери золота можно учесть в различной степени. Очевидно, что проследить влияние отдельного фактора «в чистом виде» достаточно сложно, поскольку они взаимосвязаны, дополняют друг друга или взаимоисключают [11–15]. Важнейшее значение имеет размер частиц золота: чем мельче частицы золота, тем сложнее их извлечь из песков. Мелкое золото может быть неустойчивым и смываться вместе с отходами во время гидравлического процесса промывки. Используемое оборудование не всегда идеально, и некоторые частицы золота могут быть утеряны или унесены течением, что также приводит к потере ценного металла [16–18]. Наконец, особенности некоторых месторождений могут обуславливать высокую концентрацию тонкого золота, что повышает вероятность его потерь в процессе добычи [19–20].

Эффективность извлечения золота на промывочных приборах во многом зависит от равномерности подачи горной массы и возможности регулирования отношения Т : Ж. Однако характерной особенностью большинства

промприборов является неравномерная и циклическая подача песков, что особенно неблагоприятно сказывается на эффективности извлечения золота на шлюзах.

Путем анализа различных факторов, таких как размер и концентрация частиц золота, характеристик используемого оборудования исследование ставит своей целью выяснить, какие из этих факторов оказывают наибольшее влияние на уровень потерь драгоценных металлов, а также предоставить практически значимые рекомендации для горнодобывающей промышленности по снижению потерь драгоценных металлов при отработке россыпных месторождений, включая предложения по оптимизации технологических процессов, внедрению современного оборудования и разработке новых методов промывки для повышения эффективности добычи и увеличения выхода драгоценных металлов.

Методы исследования

Распределение потока воды на шлюзах, равномерный выход песков и правильное распределение пульпы на шлюзе были рассмотрены как важные факторы, влияющие на потери драгоценных металлов. С целью предварительной оценки эффективности работы обогатительного оборудования драг на участке р. Олга (Хабаровский край), авторами были проведены измерения отношения твердой и жидкой фазы пульпы (Т : Ж), поступающей на шлюзы мелкого наполнения (ШМН), выполнена общая оценка работы данных драг, включающая анализ факторов, влияющих на производительность драги: характер золотосодержащих песков и вскрышных пород, извлекаемых драгами и поступающих для дезинтеграции в дражную бочку и далее на ШМН. Просеивание шли-

хового золота, излученного с ШМН драги № 45 через лабораторные сита, показало, что значительная доля частиц золота находится в мелких классах крупности: $-1,0 +0,5$ мм — 50 %, $-0,5$ — 20,7%.

Оценка соотношения Т : Ж в пульпе на ШМН осуществлялась по следующей методике:

- на сливе каждого шлюза производился отбор пульпы в 12-литровое ведро. Жидкая фракция сливалась, затем рулеткой замерялся уровень остатка твердой части (от края ведра). Каждое измерение производилось 3 раза, результаты заносились в журнал наблюдений;

- время наполнения ведра фиксировалось секундомером;

- измерение скорости потока пульпы на шлюзах производилось с использованием куска вспененного полистирола и секундомера.

Занесенные в журнал данные наблюдений были обработаны, на их основе были выведены отношения Т : Ж в пульпе, а также рассчитаны объемы выхода пульпы и горной массы на ШМН на драге № 45.

Проведенные измерения и расчеты, а также визуальное наблюдение за организацией горных работ и работой технологического оборудования, применяемого на добычных участках при отработке полигонов золотосодержащих песков, показали, что на ШМН драг происходит неравномерное поступление и распределение пульпы, подаваемой после дезинтеграции (промывки) горной массы в дражной бочке, что в свою очередь обусловлено следующим рядом факторов:

- неравномерной подачей горной массы из забоя (различная загруженностью черпаков);

- работой шлюзов в условиях минимальной подачи или прекращения подачи горной массы на промывку при

проходке мерзлых грунтов, подэфеливании драги, поломках либо отсутствии в необходимом количестве землеройной техники и др.;

- поступление на промывку различных по гранулометрическому составу пород (торфа, песка, эфеля, мёрзлых, а также коренных пород из приплотиковой части).

Перечисленные факторы значительно влияют на эффективность обогащения пульпы на ШМН и, как следствие этого, на объем добычи полезного ископаемого.

На представленной диаграмме (рис. 1) прослеживается явная тенденция резкого увеличения значений жидкой фазы в пульпе драги № 45, поступающей на ШМН, начиная с 3–4 шлюза, и до 12, причем на некоторых шлюзах значения доходят до 1:100 и выше.

Результаты исследования

Из многолетней практики дражной золотодобычи диапазон нормального значения соотношения Т : Ж для ШМН принимается от 1:6 до 1:10 (максимум 15). Значения Т : Ж, превышающие данные величины, приводят к сверхнормативным потерям россыпного золота. Значения в диапазоне от 1:10 до 1:20 соответствуют значениям, приемлемым для работы шлюзов глубокого наполнения (ШГН). Соотношение Т : Ж выше 1:20 считаются нежелательными и для ШГН [13, 16, 19].

С целью минимизации потерь золота при обогащении песков на ШМН и снижения энергоемкости драг необходима разработка программ автоматизации процессов обогащения перерабатываемой на драгах горной массы.

В связи с этим рекомендуется:

1. Определить опытным путем оптимальные параметры работы ШМН при различных производственных режимах работы драги;

2. Определить диапазоны регулировок оборотов двигателей насосных установок драг для минимальных, номинальных и максимально допустимых режимов подачи заборной воды;

3. Разработать алгоритмы для автоматического управления частотными преобразователями режимов работы двигателей насосов драг во время переработки горной массы.

Полученные данные вносятся в разработанную в Институте горного дела ДВО РАН систему автоматического контроля и регулирования параметров гидропотока, которая позволяет: в автоматическом режиме регулировать количество подаваемой технологической воды в зависимости от объема обогащаемых песков, создавая тем самым наиболее благоприятный режим работы шлюзов; производить плавный пуск и остановку электродвигателей промприбора, включая регулирование подачи воды насосом, не допуская перегрузки сети; производить фиксирование и сохранение данных с определением времени работы прибора в номинальном, перегруженном, холостом режимах, а также косвенно определять объем промывки песков за день, месяц, сезон; снизить расход электроэнергии

и повысить энергоэффективность. Также в системе реализован контроль загрузки шлюзов горной массой машинистом экскаватора, для чего в кабину экскаватора передается из шкафа управления информация о нагрузке промприбора. Контроллер производит запись параметров работы прибора, выработку в часах и суммарную потребленную мощность за период (сутки, неделя и т.д.), через которую можно вычислить объем промытых песков. Такая схема имеет очень надежное техническое решение и может быть реализована на многих промывочных приборах, не только скрубберно-бочечного типа, но и на виброгрохотах.

Также проведены исследования шлюзов на скруббер-бутаре на участке Равнинный (Хабаровский край). Авторами проведены экспериментальные исследования с установкой шибера на выходе с эффельной ванны на шлюзы и детально проанализировано их влияние на равномерность распределения материала. Это ещё один фактор, влияющий на потери золота на шлюзах.

Установка шибера на выходе с эффельной ванны является важным шагом для управления потоком матери-

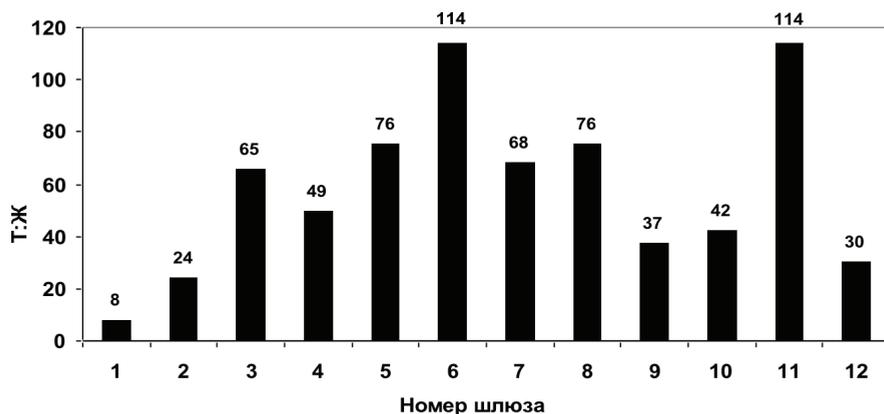


Рис. 1. Отношение $T : Ж$ (к одной части твердой фазы)
Fig. 1. $T : L$ ratio (to one part of the solid phase)

ала на шлюзах и обеспечения оптимальных условий разделения и обогащения. Шибер позволяет точно регулировать скорость и объем выходящего материала, что важно для обеспечения стабильности процесса и предотвращения потерь драгоценных металлов.

Основные преимущества установки шибера на выходе с эффельной ванны включают:

1. Управление потоком материала: шибер позволяет точно регулировать поток материала на шлюзах. Регулирование потока материала позволяет контролировать скорость осаждения золота и обеспечивать оптимальные условия для его извлечения.

2. Улучшение эффективности обогащения: правильно отрегулированный поток материала позволяет достичь более эффективного обогащения. Оптимальная скорость и объем материала на шлюзах способствуют лучшей сортировке и отделению золота от других материалов. Это помогает снизить потери драгоценных металлов и увели-

чить концентрацию золота в конечном продукте.

3. Улучшение стабильности процесса: регулирование потока материала на шлюзах с помощью шибера способствует стабильности процесса обогащения. Это позволяет снизить воздействие возможных колебаний или изменений в составе пульпы на результаты разделения. Стабильный и контролируемый процесс обогащения повышает эффективность работы и качество конечного продукта.

4. Установка шибера и тщательное регулирование потока материала на шлюзах на основе данного эксперимента позволяет сделать вывод о значимости управления потоком материала в процессе разделения и обогащения. Это дает возможность повысить эффективность работы и снизить потери драгоценных металлов, что является важным аспектом для успешной золотодобычи.

На диаграмме (рис. 2) видно, как менялся состав Т : Ж на шлюзах

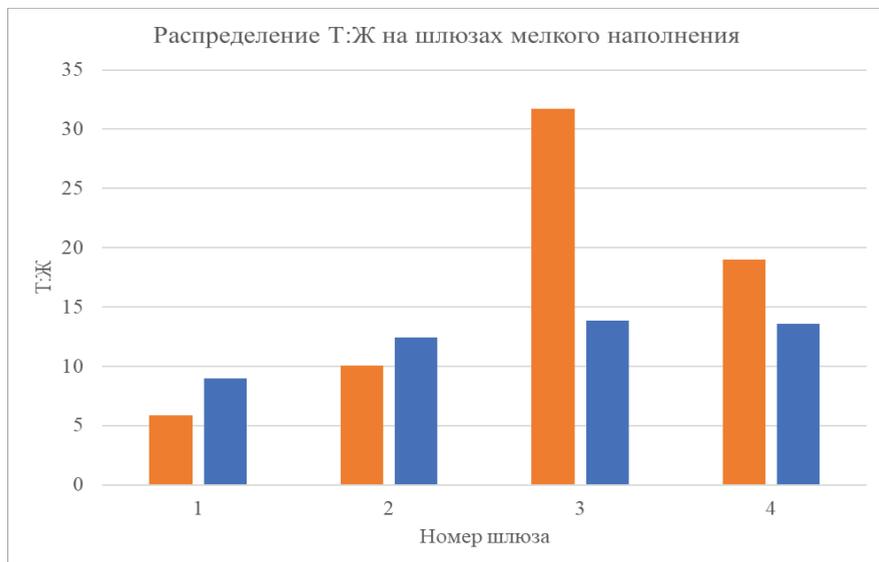


Рис. 2. Разница в Т : Ж до и после установки шибера

Fig. 2. Difference in T : L before and after installing the gate

до (оранжевый цвет) и после регулировки шиберами (синий цвет): разброс Т : Ж на шлюзе номер 3 уменьшился более чем в 2 раза, и на остальных ШМН разброс стал достигать не более 37%.

На основе проведенного исследования и полученных результатов были сформулированы следующие рекомендации для снижения потерь драгоценных металлов при отработке россыпных месторождений:

1. Тщательное контролирование и управление потоком материала на шлюзах с использованием шиберов для обеспечения равномерного распределения и оптимальных условий разделения.

2. Оптимизация технологических параметров обогащения, таких как скорость потока воды, угол наклона шлюзов и время задержки, для достижения наилучших результатов по снижению потерь драгоценных металлов.

3. Регулярный мониторинг и анализ гранулометрического состава россыпей, а также физико-химических свойств материала, с целью определения оптимальных параметров обогащения.

4. Проведение дополнительных исследований и разработка новых методов и технологий для более эффектив-

ного обогащения и снижения потерь драгоценных металлов.

Заключение

Результаты нашего исследования подтверждают, что потери драгоценных металлов при отработке россыпных месторождений являются актуальной проблемой в горнодобывающей промышленности. Определение и анализ факторов, оказывающих влияние на эти потери, является ключевым шагом в разработке эффективных стратегий снижения потерь и оптимизации процессов добычи.

Исследования на драге и скруббер-бутаре выявили несколько значимых факторов, влияющих на потери драгоценных металлов. Также неоптимальные методы разделения золотоносного песка и недостаточная эффективность технологий обогащения оказывают существенное влияние на потери металлов.

Однако наш анализ также выявил потенциал для улучшения ситуации. Интеграция современного оборудования и инновационных технологий в процессы отработки россыпных месторождений может значительно снизить потери драгоценных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В. С., Банщикова Т. С.* Применение нетрадиционных технологий для извлечения золота из техногенных образований россыпей Приамурья // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 52–57. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.10.

2. *Алексеев В. С.* Обоснование рациональной технологии формирования продуктивной зоны при открытой разработке техногенных россыпей Приамурья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Хабаровск, 2012. — 22 с.

3. *Банщикова Т. С., Леоненко Н. А., Алексеев В. С.* Физико-химические способы извлечения тонкодисперсного золота из техногенных россыпей Приамурья // Обогащение руд. — 2017. — № 6. — С. 32–37. DOI: 10.17580/or.2017.06.06.

4. *Алексеев В. С., Банщикова Т. С.* Извлечение упорных форм золота из гравитационных концентратов и хвостов обогащения россыпей с применением химических реагентов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 4. — С. 159–164.

5. Литвинцев В. С. О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2013. — № 1. — С. 118–126.

6. Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Алексеев В. С. Процессы формирования продуктивного пласта техногенных россыпей благородных металлов // Тихоокеанская геология. — 2012. — Т. 31, № 4. — С. 106–112.

7. Giraldo Malca U. F., Dunin-Borkowski A. S., Bustamante N. F., Mori Reaño M. J., Giraldo Armas J. M. Alluvial gold mining, conflicts, and state intervention in Peru's southern Amazonia // The Extractive Industries and Society. 2023, Vol. 13, P. 101219. DOI:10.1016/j.exis.2023.101219.

8. Семенов А. Н., Серый П. С. Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2019. — № 8. — С. 88–96. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96.

9. Серый П. С. Повышение эффективности разработки высокоглинистых россыпей // Маркшейдерия и недропользование. — 2009. — № 6. — С. 51–57.

10. Серый П. С., Алексеев В. С., Сас П. П. Оценка эффективности работы шлюзовых промывочных приборов при отработке месторождения с мелким и пластинчатым золотом // Золото и технологии. — 2015. — № 1. — С. 104–107.

11. Серый П. С., Таганов В. В., Гевало К. В. Снижение потерь драгоценных металлов на промывочных приборах за счет оптимизации работы шлюзов мелкого наполнения // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 49–52. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.09.

12. Журавлев К. А. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при отработке россыпных месторождений золота // Актуальные проблемы освоения георесурсов: материалы I Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов. — 2022. — С. 69–73.

13. Васюта А. Д., Журавлев К. А. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов и оценка их энергоемкости // Проблемы недропользования. — 2023. — № 2. — С. 32–39. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.032.

14. Tuokuu F., Idemudia U., Gruber J. S., Kayira J. Identifying and clarifying environmental policy best practices for mining industry — a systematic review // Journal of Cleaner Production. 2019, Vol. 222, pp. 922–933.

15. Frimmel H. E., James C. S. Placer Deposits and Processes. Encyclopedia of Geology (Second Edition). 2021, pp. 877–898. DOI: 10.1016/B978-0-08-102908-4.00004-7.

16. Таганов В. В., Семенов А. Н. Исследование закономерностей распределения полезных компонентов на шлюзовых приборах при отработке россыпных месторождений // Проблемы недропользования. 2019. № 2 (21). С. 138–142

17. Таганов В. В., Алексеев В. С. Обоснование технологии отработки техногенных россыпных месторождений золота с формированием продуктивной зоны // Проблемы недропользования. 2020. № 2 (25). С. 73–79.

18. Wierchowicz J., Mikulski S. Z., Gąsiński A. Nanofoms of Gold from Abandoned Placer Deposits of Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland) // Ore Geology Reviews. 2018. Vol. 101. P. 211–220. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.07.009.

19. Massaro L., Theije M. Understanding Small-Scale Gold Mining Practices: An Anthropological Study on Technological Innovation in the Vale Do Rio Peixoto (Mato Grosso, Brazil) // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 204. P. 618–635. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.08.153.

20. Litvitsev V., Alexeev V., Kradenykh I. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits // E3S Web of Conferences. — 2018. — Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005.

REFERENCES

1. Alekseev V. S., Banshchikova T. S. The use of unconventional technologies for extracting gold from man-made placer formations of the Amur region. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 10. pp. 52–57. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.10.
2. Alekseev V. S. Justification of rational technology for the formation of a productive zone at open development of technogenic placers of the Amur region: abstract. dis. ... candidate of Technical Sciences. Khabarovsk, 2012. 22 p.
3. Banshchikova T. S., Leonenko N. A., Alekseev V. S. Physico-chemical methods of extracting fine gold from technogenic placers of the Amur region. *Ore enrichment*. 2017. No. 6. pp. 32–37. DOI: 10.17580/or.2017.06.06.
4. Alekseev V. S., Banshchikova T. S. Extraction of resistant forms of gold from gravity concentrates and tailings of placer enrichment with the use of chemical reagents. *Physico-technical problems of mineral development*. 2017. No. 4. pp. 159–164.
5. Litvintsev V. S. Resource potential of placer mining waste. *Journal of Mining Science*. 2013. no. 1. C. 118–126.
6. Mamaev Yu. A., Litvintsev B. S., Alekseev V. S. Processes of formation of a productive reservoir of technogenic placers of precious metals. *Pacific geology*. 2012. Vol. 31, No. 4. pp. 106–112.
7. Giraldo Malka U. F., Dunin-Borkovsky A. S., Bustamante N. F., Mori Reagno M. J., Giraldo Armas J. M. Alluvial gold mining, conflicts and state intervention in the southern Amazonia of Peru. *Mining industry and society*. 2023, Volume 13, p. 101219. DOI: 10.1016/j.exis.2023.101219.
8. Semenov A. N., Seriy R. S. Investigation of disintegration processes of hard-to-wash sands of placer gold deposits. *News of higher educational institutions. Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 8. pp. 88–96. DOI: 10.21440/0536–1028–2019–8–88–96.
9. Seriy R. S. Improving the efficiency of the development of high-clay placers. *Surveying and subsoil use*. 2009. No. 6. pp. 51–57.
10. Seriy R. S., Alekseev V. S., Sas P. P. Evaluation of the efficiency of sluice flushing devices when mining deposits with fine and plate gold. *Gold and technologies*. 2015. No. 1. pp. 104–107.
11. Seriy R. S., Taganov V. V., Gevalo K. V. Reducing losses of precious metals on flushing devices by optimizing the operation of fine-filling sluices. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 10. pp. 49–52. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.09.
12. Zhuravlev K. A. Analysis of the operation of sluice flushing devices during the development of placer gold deposits. *Actual problems of the development of georesources: materials of the First All-Russian Scientific Conference of Young Scientists and postgraduates*. 2022. pp. 69–73.
13. Vasyuta A. D., Zhuravlev K. A. Analysis of the operation of sluice flushing devices and assessment of their energy intensity. *Problems of subsoil use*. 2023. No. 2. PP. 32–39. DO: 10.25635/2313–1586.2023.02.032.
14. Tuokuu F., Idemudiya U., Gruber J. S., Kayira J. Identification and explanation of the best practices of environmental policy for the mining industry a systematic review. *Journal of Cleaner Production*. 2019, Volume 222, pp. 922–933.
15. Frimmel H. E., James K. S. *Placer deposits and processes*. Geological Encyclopedia (second edition). 2021, pp. 877–898. DOI: 10.1016/B978–0–08–102908–4.00004–7.
16. Taganov V. V., Semenov A. N. Study of patterns of distribution of useful components on sluice devices during mining of placer deposits. *Problems of Subsoil Use*. 2019. no. 2 (21). C. 138–142.
17. Taganov V. V., Alekseev V. S. Justification of exploitation technology of technogenic alluvial gold deposits with formation of productive zone. *Problems of Subsoil Use*. 2020. no. 2 (25). C. 73–79.

18. Wierchowicz J., Mikulski S. Z., Gąsiński A. Nanoforms of Gold from Abandoned Placer Deposits of Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland). *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 101. P. 211–220. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.07.009.

19. Massaro L., Theije M. Understanding Small-Scale Gold Mining Practices: An Anthropological Study on Technological Innovation in the Vale Do Rio Peixoto (Mato Grosso, Brazil). *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 204. P. 618–635. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.08.153.

20. Litvitsev V., Alexeev V., Kradenykh I. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Журавлев Кирилл Аркадьевич*¹ – аспирант, инженер, e-mail: kirill_dguravlev@mail.ru;
*Васюта Алексей Дмитриевич*¹ – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: vasyuta.aleksey.igd@gmail.com;

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Zhuravlev K. A.*¹, graduate student, engineer, e-mail: kirill_dguravlev@mail.ru;
*Vasyuta A. D.*¹, graduate student, junior researcher, e-mail: vasyuta.aleksey.igd@gmail.com;

¹ Institute of Mining of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia.

The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Получена редакцией 05.10.2023; получена после рецензии 27.10.2023; принята к печати 10.11.2023.

Received by the editors 05.10.2023; received after the review 27.10.2023; accepted for printing 10.11.2023.

