

## КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ МИНИМИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ ПРОМЫВАЕМЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ ПЕСКОВ

**А.М. Бураков**

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН,  
Якутск, Россия, e-mail: ambur@igds.ysn.ru

**Аннотация:** В сложных горно-геологических условиях россыпных месторождений, при большом разнообразии характеристик металла и песков, значительном содержании мелкого золота остается актуальной проблема минимизации объемов промываемых песков по критерию предельной крупности некондиционного сырья. За основу для создания методологии минимизации принят способ комбинированной переработки как включающий в себя основной набор операций добычи и обогащения, имеющий целью сокращение объемов работ и повышение извлечения металла. Сохранение и повышение ресурсного потенциала месторождений с учетом фактора неравномерности распределения полезного компонента в массиве предопределило необходимость геометризации запасов и выделения золотосодержащих областей как начальной стадии методологии минимизации. С учетом разнообразия характеристик металла и песков и количества мелкого золота был проведен комплекс исследований, имеющих целью сокращение объемов переработки продукта в условиях разнообразия месторождений и характеристик обогащательного оборудования. Возможность формирования обогащенного пласта песков с содержанием, равным или превышающим промышленное, позволяет в дальнейшем осуществлять подачу концентрированного слоя на обогащение, что сокращает объемы переработки и повышает извлечение металла. Освещены элементы предлагаемых технологий, ранее реализованные на горных предприятиях. Предложена совокупность методик и технологий для минимизации объема промываемых песков. Комплексное решение проблемы минимизации объемов промываемых песков на протяжении всего технологического цикла «разведка – добыча – переработка» способствует наиболее полному извлечению ценного компонента и может являться основой методологии.

**Ключевые слова:** россыпь, мелкое золото, содержание металла, комбинированная переработка, геоинформационная подготовка, минимизация объемов, методология.

**Благодарность:** Исследования проводились на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

**Для цитирования:** Бураков А. М. Комплексное решение проблемы минимизации объемов промываемых золотоносных песков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 2. – С. 127–138. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_2\_0\_127.

### An umbrella approach to volume minimization in gold sand washing

**A.M. Burakov**

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: ambur@igds.ysn.ru

---

**Abstract:** In difficult geological conditions of placer mining at highly various characteristics of gold and sand, and given high content of fine gold, the volume minimization of sand washing by the criterion of maximum size of low-quality raw material is a challenging problem. The framework for the volume minimization methodology is assumed to be the integrated processing method including the core set of mining and processing operations toward reduction in volume of works at increased gold recovery. Preservation and increase of the resource potential in view of uneven concentration of the useful component orders geometrization and identification of gold-bearing sites as the first stage of the minimization methodology. Considering the diverse characteristics of metal and sand and with regard to the amount of fine gold, the integrated research was undertaken to analyze feasibility of reduction in the volume of product being processed under conditions of various characteristics of placers and processing equipment. Formation of a sand layer with the gold content equal or higher than the commercial content enables further processing of only this concentrated layer, which reduces the volume of processing and increases the metal recovery. The components of the proposed technologies earlier implemented in mines are described. The package of the procedures and technologies to minimize the volume of sand washing is proposed. The umbrella approach to minimization of volume of sand washing along the whole exploration–mining–processing cycle favors complete recovery of the valuable component and may be a framework for the relevant methodology.

**Key words:** placer, fine gold, metal content, integrated processing, geoinformation preparation, volume minimization, methodology.

**Acknowledgements:** The studies used the equipment of the Shared Use Center at the Yakutia Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Grant No. 13. CKP.21.0016.

**For citation:** Burakov A. M. An umbrella approach to volume minimization in gold sand washing. *MIAB.MiningInf.Anal.Bull.* 2023;(2):127-138. [InRuss]. DOI:10.25018/0236\_1493\_2023\_2\_0\_127.

---

## Введение

Несмотря на существенное снижение доли россыпных месторождений в структуре добываемого минерального сырья, они по-прежнему занимают в ней достаточно уверенные позиции, обеспечивая значительную часть как мировой, так и отечественной добычи золота [1]. Учитывая сложность освоения залежей с малыми содержаниями полезных компонентов и небольшими объемами запасов, находящихся в районах с неразвитой инфраструктурой, в том числе Крайнего Севера, задача повышения эффективности техники и технологии добычи и переработки минерального сырья сохраняет и увеличивает свою актуальность.

Более 70% российского золота добывается из руд собственно золоторудных месторождений. Комплексные месторождения с попутным золотом (медноколчеданные, медно-никелевые и др.) обеспечивают еще около 12% добычи. Добыча золотосодержащих песков превосходит по рентабельности добычу и переработку рудного сырья.

Неравномерность распределения полезного компонента в продуктивной толще в ходе добычи приводит к разубоживанию запасов бедными песками, что влечет за собой ряд негативных последствий (увеличение объемов переработки, снижение среднего содержания металла и т.д.). В связи с этим точность опреде-

ления контуров продуктивных блоков при геометризации запасов обеспечивает прирост запасов и повышает среднее содержание полезного компонента.

Крупность золота оказывает решающее влияние на уровень извлечения его из песков, особенно это верно для мелкого и тонкого золота. По многолетнему опыту работы золотодобывающих предприятий, применяемыми обогатительными аппаратами эффективно извлекается золото крупностью более 0,2 мм, и чем мельче золото, тем большая часть его уходит в хвосты [1]. К числу наиболее эффективных способов повышения извлечения золота, по мнению большинства специалистов в области золотодобычи, относится ограничение максимальной крупности золотосодержащих песков, обогащаемых на шлюзах.

Сложные горно-геологические условия большинства россыпных месторождений, разнообразие технологических характеристик песков и металла, значительное содержание мелкого золота выводят на первый план проблему минимизации объемов промываемых песков по критерию предельной крупности некондиционного сырья.

Целью данной статьи является обоснование совокупности методик и технологий (методологии), используемых при добыче и переработке золотоносных песков с изменчивым гранулометрическим составом вмещающих пород и полезного компонента для минимизации объема промываемых песков.

### **Обзор методических материалов**

Проведенный в [2] анализ состояния вопроса в названной области показал, что отсеивание незолотосодержащей фракции на промывочных приборах гравитационного обогащения, которые по большей части применяются в Якутии, наиболее часто происходит по стандартной крупности +50(80) мм. На основе анали-

за общей ситовой характеристики обогащаемых песков в совокупности с техническими данными обогатительных приборов возможно значительно (на десятки процентов) снизить долю подрешетной фракции.

Вместе с тем, несмотря на подробное рассмотрение названного вопроса в [2], он затрагивает только часть общей проблемы минимизации объемов переработки и требует комплексного рассмотрения, с привлечением информации из смежных областей, в числе которых можно назвать геоинформационные данные о распределении металла в массиве месторождений и внутриотвальное обогащение с формированием обогащенного слоя песков гравитационными и физико-техническими методами.

За основу для создания методологии минимизации объема промываемых песков принимаем способ комбинированной переработки [3], включающий в том числе определение контуров продуктивных блоков по содержанию полезного компонента (геоинформационную подготовку), классификацию песков по крупности в непосредственной близости от места добычи, дополнительную концентрацию мелких частиц золота, имеющий целью сокращение объемов переработки и повышение извлечения металла.

В.А. Антонов и В.М. Аленичев описывают [4] геоинформационный подход к выбору режимов мониторинга геоданных и построения по ним модели контуров продуктивного пласта россыпного месторождения золота. Отмечена системная связь поставленной информационной задачи на разных стадиях освоения россыпи с необходимой сетью геоданных о положении границ пласта в разведочных скважинах и принципами формирования модели их расположения в межскважинном пространстве. К увеличению геопотенциала месторождения приведет, как утверждается в [5], обосно-

ванное определение границ выемки продуктивных масс в приконтактных зонах при открытой разработке россыпей. Поставленная цель достигается разработкой математической модели, описывающей продуктивный пласт.

В [6] проводится анализ критериев ресурсного потенциала россыпных месторождений и утверждается, что основные решения по его сохранению принимаются в процессе обоснования структуры геотехнологии, обеспечивающей высокие качественные показатели производства в совокупности с максимально полным использованием компонентов добываемого сырья, особенно при добыче золота.

Ряд организационно-технологических направлений, реализуемых в [7], в части совершенствования методов учета потерь при добыче, обоснования границ отработки приконтактных зон, моделирования пространственного распределения характеристик полезного компонента, также преследует цель повышения геопотенциала россыпных месторождений.

Источники [4–7] подтверждают необходимость геoinформационной подготовки массива россыпных месторождений для повышения полноты извлечения полезного ископаемого. Практическое решение задач современной геотехнологии возможно, в частности, на основе системного подхода к решению задач горной технологии путем моделирования ее объектов и процессов.

Программные средства, описанные в [8], позволяют моделировать геологические и технологические объекты, геомеханические условия, основные и вспомогательные технологические процессы, проводить автоматизированную технико-экономическую оценку горных работ.

### **Содержание методики**

Основная аналитическая часть процесса минимизации объемов промываемых

песков россыпей Якутии была представлена ранее в [2], в частности, проведен анализ гранулометрических характеристик песков и металла, представлен принцип распределения и систематизации, разработана объединенная шкала крупности и построены обобщенные диаграммы распределения песков по классам, доказана возможность снижения минимального размера отвальной фракции, приняты граничные значения классов крупности по характеристикам применяемого обогатительного оборудования, показано, что уменьшение крупности обогащаемых песков улучшает условия обогащения.

Апробация метода графического пересчета А.В. Поляницына, выполненная в [9], показала удовлетворительную сходимость результатов в ограниченном диапазоне крупности, в зависимости от изменения расчетных вариантов. По результатам апробации, этот метод может использоваться при пересчете ситовых характеристик с пропуском одного класса крупности с погрешностью расчета порядка 15% при сравнении с граничными значениями, совпадающими со шкалой ВНИИ-1. Удобство метода и простота его применения несколько нивелируют сравнительно высокую погрешность расчетов.

В основу принципа распределения и систематизации [2] были положены: единая шкала крупности, на основе классификации В.А. Гроссгейма, классификация ВНИИ-1 для золотосодержащих песков и метод графического перераспределения крупности фракций, используемый при анализе гранулометрии золота [10].

Главным способом извлечения самородного золота из россыпей является шлюзовое обогащение [11]. Это широко применяемый способ с большим перечнем достоинств, но имеющий главный недостаток: наличие потерь золота, особенно мелких фракций.

Исследования, проведенные в [11], привели к выводу о целесообразности обогащения на шлюзах только золото-содержащих классов крупности, при возможности удаления незолотосодержащих классов грохочением или другим способом. Утверждается, что ограничение крупности обогащаемых песков является для этого самым эффективным способом. В дополнение к приведенному утверждению можно сослаться на работу [12], в которой, помимо изложения концепции ресурсосбережения нерудного сырья и отвальных продуктов, утверждается, что «научные проработки по использованию выделяемой при промывке золотосодержащих песков гали в других отраслях промышленности до сих пор слабо реализованы».

В [13] описаны исследования, проведенные на аллювиальных россыпях Гвианы и Южной Америки. Местная группа АСМ, разрабатывающая месторождение аллювиального золота, разрешила исследовательской группе собрать 8 проб рудного материала непосредственно перед обогащением на шлюзе и 8 проб, взятых сразу после обогащения. Эффективность извлечения составила приблизительно 91%. Хотя исследования носили локальный характер, их значение нельзя недооценивать с точки зрения эффективности внедрения альтернативных технологий обработки рудного материала. В статье также отмечено, что, хотя и наблюдается прогресс в применении геостатистических методов, таких как кригинг, аллювиальные месторождения золота часто содержат небольшие зоны исключительно высокого качества. Это означает, что обычные методы опробования часто пропускают пробы высокого качества из самых богатых частей залежи.

Это явление изменчивости залежей и возникающая в результате этого геостатистическая проблема широко изве-

стны как «эффект самородка» (Дэвис, 1987; Гарнетт, 1991).

На участке месторождения россыпного золота Чинге-Кат (Тува) [14] прошли испытания технологии обогащения песков с использованием прибора ПГШ-50, имеющего плоский специальный гидравлический грохот оригинальной конструкции. Грохот обеспечивал рассев материала в водном потоке по классу  $\pm 20$  мм и регулируемый вывод подрешетной фракции на обогащение. Достигнуто снижение скорости потока пульпы с одновременным увеличением производительности прибора, что позволило эффективно извлекать под решетку золото крупностью до 0,1 мм.

Технология добычи с предварительной дезинтеграцией и классификацией в отдельных элементах уже была реализована ранее. Так, для выделения гравийно-галечной фракции из пород россыпи р. Исток-Эбелях Анабарского района Якутии [15] использовался забойный сортировочный комплекс КСА-150МА, установленный непосредственно на месте добычи песков. Комплекс выполнял первичную дезинтеграцию и классификацию продуктивной горной массы с выделением класса +25 мм, направляемого в отвал, класса -25+1,2 мм — на обогащение, класса -1,2 мм — на слив. Предварительное грохочение поступающих на сортировочную установку исходных песков осуществлялось на гидромеханическом грохоте ГГМ-3. Максимальная крупность исходных песков — 800 мм, подгрохотного материала — 50 мм. Технология позволила на 50—70% снизить объемы, транспортируемые и перерабатываемые на обогатительной фабрике, что обеспечило существенный экономический эффект.

С большой вероятностью, использование принципа предварительной сортировки золотосодержащих песков с учетом рекомендаций [2, 9] обеспечит

оптимальные условия обогащения, а значит, повышение извлечения ценного компонента.

Согласно способу комбинированной переработки [3], разделение песков по качеству производится до начала отработки, например методом кригинга или методом обратных взвешенных расстояний, путем установления верхней и внутренних границ продуктивной части с различным содержанием полезного компонента. Это позволяет при последующей разработке и сортировке направлять пески с высоким и низким содержанием по различным направлениям переработки. Также создается технологическая емкость, например, хвостохранилище-илоотстойник с некоторыми необходимыми дополнениями.

Заполнение емкости (илоотстойника) осуществляется по технологии, обеспечивающей максимальное использование эффекта гравитационного разделения частиц с различным удельным весом. Для этого необходимо выпуск пульпы производить равномерно по всей длине отстойника с возможностью слива тонкого глинистого шлама в отвал. По мере заполнения производится периодический контроль хода процесса осаждения с составлением соответствующих разрезов. Известная разность скоростей падения минералов в воде в зависимости от их удельного веса позволяет предположить, что регулирование режимов гидродинамических потоков в объеме хранилища даст возможность в известной степени управлять процессом осаждения частиц пульпы. Этот эффект позволит создавать слои с повышенной концентрацией полезного компонента, которые в дальнейшем подаются на обогащение.

Для техногенных россыпных образований в [16, 17] описано явление внутриотвального обогащения. При этом под воздействием ряда факторов, большей частью природного происхождения, ча-

стицы высокой плотности перемещаются (мигрируют) в вертикальном направлении (миграция) и концентрируются в нижних горизонтах массива. В результате промышленных экспериментальных исследований удалось сформировать обогащенный пласт и предложить технологию, использующую способность миграции частиц золота в приплотиковую часть россыпи, что позволит создать слой (пласт) песков с повышенным содержанием.

По утверждениям специалистов [18], промышленный интерес в уже отработанных месторождениях могут представлять ресурсы золота исключительно в эфельных отложениях предыдущих отработок. Оценка прогнозных ресурсов золота с достаточной достоверностью в этом случае возможна по данным о промытых объемах песков и массе добытого металла, его средней крупности. В случае совместного складирования эфельных, вскрышных и галечных отвалов оценка содержания золота и рентабельности его добычи требует проведения опробовательских работ.

В [18] указывается, что рациональная отработка остаточных запасов пластовых россыпей позволяет избежать вероятности создания новых техногенных россыпей, что возможно с использованием традиционной технологии извлечения.

Вторичная отработка техногенных отложений, а также обводненных хвостохранилищ возможна с использованием различных комплексов оборудования [19], позволяющих осуществлять промывку и классификацию песков. В [20] отмечается, что среда осадконакопления достаточно сильно влияет на изменчивость структуры отложений золота и ассоциированных с ними тяжелых минералов.

Общей и важной задачей в горнодобывающей промышленности является оценка [21] конечного объема отходов,

связанного с осаждением и консолидацией под собственным весом. Было предложено аналитическое решение для оценки осадки хвостохранилищ или засыпки с учетом осаждения и консолидации. Для подтверждения предлагаемого аналитического решения были проведены испытания на осаждение хвостов в двух формах. Была достигнута хорошая сходимость между экспериментальными данными и расчетами с помощью предлагаемого решения.

Таким образом, предлагаемое решение может считаться подтвержденным и использоваться для оценки осадки хвостохранилищ или тампонажного шлама.

В [22] идет речь о переработке или о потенциальном репрофилировании вторичных хвостохранилищ путем стабилизации поверхности отвала, например растительностью, или перекрытия их водонасыщенным глинистым слоем для предотвращения дальнейшего окисления пород.

### **Результаты**

Предлагаемая совокупность методик и технологий, используемых при добыче и переработке золотоносных песков с изменчивым гранулометрическим составом вмещающих пород и полезного компонента, имеющая целью минимизировать объем промываемых песков, базируется на использовании следующих методических расчетов и технологических мероприятий:

- геометризация продуктивного массива россыпных месторождений по содержанию металла (геоинформационная подготовка массива) путем обработки данных геологического опробования различными методами математической статистики, обоснование рациональной очередности и порядка обработки;

- аналитическое определение характеристик и свойств компонентов месторождения (вскрышных пород, песков,

металла), совмещенный анализ и стандартизация гранулометрии песков и металла по принципу распределения и систематизации, расчет предельного класса крупности отсеивания и сокращения объемов обогащаемых песков;

- анализ возможных потерь металла при использовании различных типов обогатительных приборов и оборудования с учетом технологических характеристик и морфологических свойств золота;

- компоновка оборудования добычи и переработки золотосодержащих песков по принципам ограничения максимальной крупности, предварительной сортировки, максимального приближения рудоподготовительных комплексов к местам выемки, минимизации затрат по подъему материала путем максимального приближения уровня загрузки установки к уровню земли, минимизации объема и веса поднимаемого материала, минимизации времени и других затрат на обслуживание и перестановку прибора, минимизации стоимости самой установки и ее эксплуатации, максимума эффективности улавливания ценного компонента с общей задачей эффективного извлечения золотоносных фракций различной крупности;

- обеспечение стабильной кусковатости добываемых песков, улучшающей условия обогащения, отделение непродуктивного класса методами дезинтеграции и классификации;

- отделение непродуктивного класса по гранулометрическому составу методом «сухой дезинтеграции» [23, 24] или промывкой в водной среде, возможно, в несколько стадий рассеивания песков;

- направление дезинтегрированного и классифицированного продукта по различным транспортным потокам: высокого качества — на обогатительные аппараты; низкого качества — в технологическую емкость для дополнительной концентрации;

- переработка песков с высоким содержанием металла на обогатительных приборах, эффективно извлекающих золотосодержащие фракции различной granulometрии, к примеру: технология извлечения золота НПК «Механобртехника» [25], аквагравитационный обогатительный комплекс Н.В. Бурдина и В.И. Лебедева [26], обогатительный комплекс с виброгрохотом-шлюзом [27], шлюз КС-1 [28];

- классификация по плотности мелких частиц золота, ассоциированных с глинистыми минералами, на основе гравитационных и физико-технических методов формирования продуктивных зон;

- подача на обогащение золотосодержащего продукта из сформированной продуктивной зоны [29] — заключительная стадия переработки.

Рассмотренные в [30] процессы повышения концентрации золота могут сыграть роль методологической базы для обоснования принципиальной возможности управления содержанием металла и формированием месторождений.

Предлагаемый перечень методик и технологий содержит в себе комплексное решение проблемы минимизации объемов промываемых песков на протяжении всего технологического цикла «разведка — добыча — переработка», способствует наиболее полному извлечению ценного компонента, сокращает объемы обогащаемых песков по присутствию золотосодержащего класса и может являться основой методологии.

### **Заключение**

Ведущие специалисты в области золотодобычи вполне обоснованно считают, что эффективно повысить извлечение золота при обогащении золото-

содержащих песков на шлюзах можно путем оптимизации процесса загрузки или ограничения максимальной крупности промываемых песков.

За основу для создания методологии минимизации объемов промываемых песков принят способ комбинированной переработки [3] как включающий в себя основной набор операций добычи и обогащения и имеющий целью сокращение объемов переработки и повышение извлечения металла.

Сохранение и повышение ресурсного потенциала месторождений с учетом фактора неравномерности распределения полезного компонента в массиве предопределяет необходимость геометризации запасов и выделения золотосодержащих областей как первого этапа методологии минимизации.

Разнообразие характеристик и свойств песков и металла, довольно частое наличие мелкого золота обозначили необходимость проведения комплекса исследований [2], имеющих целью минимизацию объемов промываемых песков для разнообразных условий месторождений и типов промывочных приборов.

Подтвержденная исследованиями [16, 17] возможность формирования продуктивной зоны с содержанием, равным или превышающим промышленное, и дальнейшая подача концентрированного слоя на обогащение сокращает объемы переработки и повышает извлечение металла.

Комплексное решение проблемы минимизации объемов промываемых песков на протяжении всего технологического цикла «разведка — добыча — переработка» способствует наиболее полному извлечению ценного компонента и может являться основой методологии.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Ткач С. М., Хоютанов Е. А. Оценка влияния особенностей строения россыпных месторождений золота на эффективность их освоения на Севере // ФТПРПИ. — 2022. — № 3. — С. 67–77. DOI: 10.15372/FTPRPI20220307.



2. *Ермаков С. А., Бураков А. М., Касанов И. С.* Минимизация объемов переработки золотосодержащих песков россыпных месторождений Якутии по критерию предельной крупности некондиционного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 4. — С. 138–148.

3. *Ермаков С. А., Бураков А. М., Панишев С. В., Касанов И. С., Иванов И. В.* Патент № 2449126 РФ, МПК E21, C41/30. Способ комбинированной переработки песков россыпного месторождения золота реки Большой Куранах; заявитель и патентообладатель Учреждение РАН Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. № 2010133211/03; заявл. 06.08. 2010; опубл. 27.04. 2012, Бюл. № 12.

4. *Антонов В. А., Аленичев В. М.* О мониторинге геоданных и моделировании продуктивного пласта россыпного месторождения золота // Маркшейдерия и недропользование. — 2018. — № 3(95). — С. 56–59.

5. *Аленичев М. В., Аленичев В. М.* Геоинформационное обеспечение полноты извлечения запасов при разработке россыпей // Проблемы недропользования. — 2016. — № 4(11). — С. 152–160. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.152.

6. *Аленичев В. М.* К вопросу оценки ресурсного потенциала золотоносных россыпей при открытой разработке // Проблемы недропользования. — 2020. — № 4(27). — С. 90–97. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.090.

7. *Аленичев В. М., Аленичев М. В.* Повышение геопотенциала россыпного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 16–25. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-16-25.

8. *Лукичев С. В., Наговицын О. В.* Системный подход к решению задач горной технологии на основе моделирования ее объектов и процессов // Проблемы недропользования. — 2016. — № 4. — С. 141–151. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.141.

9. *Касанов И. С.* Оценка метода пересчета ситовых характеристик золота на примере отдельных россыпей Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 10. — С. 396–408.

10. *Кавчик Б. К.* Определение гранулометрических характеристик россыпного золота по данным ситовых анализов // Золотодобыча. — 2013. — № 171. — С. 26–29.

11. *Серый Р. С.* Снижение потерь золота на шлюзовых промывочных приборах при отработке труднообогатимых россыпей // Маркшейдерия и недропользование. — 2014. — № 6(74). — С. 20–22.

12. *Мязин В. П., Петухова И. И., Шумилова Л. В., Балагуров А. А.* Развитие концепции ресурсосбережения нерудного сырья и отвальных продуктов при обогащении и переработке золотосодержащих песков // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2020. — № 1. — Т. 7. — С. 229–233. DOI: 10.15372/FPVGN2020070135.

13. *Teschner B., Smith N. M., Borrillo-Hutter T., John Z. Q, Wong T. E.* How efficient are they really. A simple testing method of small-scale gold miners' gravity separation systems // Minerals Engineering. 2017, no. 105, pp. 44–51. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.01.005.

14. *Бурдин Н. В., Лебедев В. И.* Технология промывки золотосодержащих песков с отработкой водно-шламовой схемы // Современные наукоемкие технологии. — 2009. — № 3. — С. 24–36. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=26255> (дата обращения: 28.05.2021).

15. *Бураков А. М., Ермаков С. А., Акишев А. Н., Деметьев С. А., Клейменов В. В.* Способ разработки россыпного месторождения алмазов с применением предварительной концентрации песков / Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Материалы 2-й Международной научно-технической конференции. — Красноярск, 2004. — С. 57–62.

16. *Алексеев В. С., Сас П. П., Серый Р. С.* Экспериментальные исследования формирования продуктивных зон в техногенных россыпных месторождениях золота // Физико-

технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 6. — С. 191–197. DOI: 10.15372/FTPRPI20170620.

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. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.073.

18. Литвиненко И. С., Голубенко И. С. Ресурсный потенциал золота в отвальном комплексе отработанных россыпных месторождений Магаданской области // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 5. — С. 17–24.

19. O'Donovan C., Adam E., Torres-Cruz L. A. Remote sensing of the decant pond of tailings dams: Insights from a South African case study // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2022, vol. 122, no. 4, pp. 167–172. DOI: 10.17159/2411-9717/1766/2022.

20. Eden K., Grosz A. E. Gold and associated industrial heavy minerals in the Icy Cape District: White River to Icy Cape, Alaska, USA // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017, vol. 117, no. 5, pp. 423–428. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n5a3.

21. Jiahao Qin, Jian Zheng An analytical solution to estimate the settlement of tailings or backfill slurry by considering the sedimentation and consolidation // International Journal of Mining Science and Technology. 2021, vol. 31, pp. 463–471. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.02.004.

22. Singo N. K., Kramers J. D. Feasibility of tailings retreatment to unlock value and create environmental sustainability of the Louis Moore tailings dump near Giyani, South Africa // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2021, vol. 121, no. 7, pp. 361–368. DOI: 10.17159/2411-9717/1138/2021.

23. Монастырский В. Ф., Двойченкова Г. П., Татаринцов П. С., Мостовой Б. И., Уваров А. П. Патент RU 274286 С1. Способ предобогащения алмазосодержащих россыпей. Оpubл. 04.05.2021. Бюл. №13.

24. Митин Л. А., Жоленц Г. А. Высокоэффективная технология и оборудование для промывки и грохочения песков россыпных месторождений золота // Горный журнал. — 2000. — № 2. — С. 63–64.

25. Устинов И. Д. Ресурсосберегающие технологии извлечения драгоценных металлов. Сайт [zolotodob.ru](http://zolotodob.ru). 25.06. 2021. Открытый доступ.

26. Бурдин Н. В., Лебедев В. И. О технологии гравитационного извлечения мелкого золота // Обогащение руд. — 2008. — № 1. — С. 13–15.

27. Бурдин Н. В., Лебедев В. И. Извлечение мелкого золота из труднопромывистого минерального сырья // Современные наукоемкие технологии. — 2009. — № 3. — С. 18–23.

28. Кацман Ю. Е., Смирнов В. А. Промприборы КС-1 — эффективный инструмент борьбы с потерями в золотодобыче // Золото и технологии. — 2018. — № 1(39). — С. 86–88.

29. Сас П. П. Комплексная оценка технологических потерь золота и решение проблемы интенсификации процесса его обогащения на промывочном приборе ПГШ-II-50 // Проблемы недропользования. — 2014. — № 2(2). — С. 185–189.

30. Наумов В. А., Илалудинов И. Я., Наумова О. Б., Кольцов В. А. Оценка содержания золота в техногенных намывных отложениях // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9965> (дата обращения: 31.07.2022). **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Batugina N. S., Gavrillov V. L., Tkach S. M., Khoyutanov E. A. Assessment of the impact of the features of the structure of placer gold deposits on the effectiveness of their development in the North. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2022, no. 3, pp. 67–77. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20220307.

2. Ermakov S. A., Burakov A. M., Kasanov I. S. Minimization of processing volumes of gold-bearing sands of placer deposits of Yakutia according to the criterion of maximum size of substandard raw materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 4, pp. 138–148. [In Russ].
3. Ermakov S. A., Burakov A. M., Panishev S. V., Kasanov I. S., Ivanov I. V. *Patent RU 2449126, MPK E21, S41/30.* 27.04. 2012. [In Russ].
4. Antonov V. A., Alenichev V. M. On the monitoring of geodata and modeling of the productive formation of the placer gold deposit. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2018, no. 3(95), pp. 56–59. [In Russ].
5. Alenichev M. V., Alenichev V. M. Geoinformational provision of completeness due to the attraction of reserves in the development of placers. *Problems of Subsoil Use.* 2016, no. 4(11), pp. 152–160. [In Russ]. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.152.
6. Alenichev V. M. On the issue of assessing the resource potential of gold-bearing roses during open development. *Problems of Subsoil Use.* 2020, no. 4(27), pp. 90–97. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.090.
7. Alenichev V. M., Alenichev M. V. Enhancing geopotential of placer deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 16–25. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-16-25.
8. Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V. A systematic approach to solving problems of mining technology based on modeling of its objects and processes. *Problems of Subsoil Use.* 2016, no. 4, pp. 141–151. [In Russ]. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.141.
9. Kasanov I. S. Assessment of the method of converting the sieve characteristics of gold to at least individual placers of Yakutia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 10, pp. 396–408. [In Russ].
10. Kavchik B. K. Determination of granulometric characteristics of placer zolot according to the data of sieve analyses. *Zolotodobycha.* 2013, no. 171, pp. 26–29. [In Russ].
11. Seryi R. S. Reduction of gold losses on sluice washing devices during the development of hardly enrichment placers. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2014, no. 6(74), pp. 20–22. [In Russ].
12. Myazin V. P., Petukhova I. I., Shumilova L. V., Balagurov A. A. Development of the resource-saving concept of non-metallic raw materials and waste products in the enrichment and processing of gold-bearing sands. *Mining sciences: fundamental and applied issues.* 2020, no. 1, vol. 7, pp. 229–233. [In Russ]. DOI: 10.15372/FPVGN2020070135.
13. Teschner B., Smith N. M., Borrillo-Hutter T., John Z. Q., Wong T. E. How efficient are they really. A simple testing method of small-scale gold miners' gravity separation systems. *Minerals Engineering.* 2017, no. 105, pp. 44–51. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.01.005.
14. Burdin N. V., Lebedev V. I. Technology of washing gold-containing sands with the development of a water-sludge scheme. *Modern high technologies.* 2009, no. 3, pp. 24–36, available at: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=26255> (accessed 28.05.2021).
15. Burakov A. M., Ermakov S. A., Akishev A. N., Demytyev S. A., Kleimenov V. V. Method of developing a placer diamond deposit using a preliminary concentration of sands. *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov: Materialy 2-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Modern technologies for the generation of mineral resources.]*, Krasnoyarsk, 2004, pp. 57–62. [In Russ].
16. Alekseev V. S., Sas P. P., Seryi R. S. Experimental studies of the forcing of productive zones in man-made placer gold deposits. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2017, no. 6, pp. 191–197. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20170620.
17. Taganov V. V., Alekseev V. S. Rationale for the technology of developing man-made placer gold deposits with the formation of a productive zone. *Problems of Subsoil Use.* 2020, no. 2(25), pp. 73–79. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.073.
18. Litvinenko I. S., Golubenko I. S. The resource potential of gold in the waste complex of spent placer deposits of the Magadan region. *Prospect and protection of mineral resources.* 2015, no. 5, pp. 17–24. [In Russ].

19. O'Donovan C., Adam E., Torres-Cruz L. A. Remote sensing of the decant pond of tailings dams: Insights from a South African case study. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2022, vol. 122, no. 4, pp. 167–172. DOI: 10.17159/2411-9717/1766/2022.

20. Eden K., Grosz A. E. Gold and associated industrial heavy minerals in the Icy Cape District: White River to Icy Cape, Alaska, USA. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017, vol. 117, no. 5, pp. 423–428. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n5a3.

21. Jiahao Qin, Jian Zheng An analytical solution to estimate the settlement of tailings or backfill slurry by considering the sedimentation and consolidation. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021, vol. 31, pp. 463–471. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.02.004.

22. Singo N. K., Kramers J. D. Feasibility of tailings retreatment to unlock value and create environmental sustainability of the Louis Moore tailings dump near Giyani, South Africa. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2021, vol. 121, no. 7, pp. 361–368. DOI: 10.17159/2411-9717/1138/2021.

23. Monastyrskiy V. F., Dvoichenkova G. P., Tatarinov P. S., Mostovoy B. I., Uvarov A. P. Patent RU 274286 S1. 04.05.2021. [In Russ].

24. Mitin L. A., Zholenz G. A. Highly efficient technology and equipment for washing and screening of sands of placer gold deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2000, no. 2, pp. 63–64. [In Russ].

25. Ustinov I. D. *Resursosbergayushchie tekhnologii izvlecheniya dragotsennykh metallov* [Resource-saving technologies for the extraction of precious metallies], available at: zolotodob.ru (accessed 25.06.2021).

26. Burdin N. V., Lebedev V. I. On the technology of gravitational extraction of fine gold. *Obogashchenie Rud*. 2008, no. 1, pp. 13–15. [In Russ].

27. Burdin N. V., Lebedev V. I. Extraction of fine gold from hard-to-wash mineral raw materials. *Modern high technologies*. 2009, no. 3, pp. 18–23. [In Russ].

28. Katsman Yu. E., Smirnov V. A. Prompribory KS-1 – an effective tool to combat losses in gold mining. *Zoloto i tekhnologii*. 2018, no. 1(39), pp. 86–88. [In Russ].

29. Sas P. P. Complex assessment of gold process losses and solution of intensification problem of its enrichment process on PGSh-II-50 washing device. *Problems of Subsoil Use*. 2014, no. 2(2), pp. 185–189. [In Russ].

30. Naumov V. A., Ilaltdinov I. Ya., Naumova O. B., Koltsov V. A. Assessment of gold content in man-made alluvial deposits. *Problems of modern science and education*. 2013, no. 4. [In Russ], available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9965> (accessed 31.07.2022).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бураков Александр Михайлович – канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник, e-mail: [ambur@igds.ysn.ru](mailto:ambur@igds.ysn.ru),  
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

A.M. Burakov, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,  
e-mail: [ambur@igds.ysn.ru](mailto:ambur@igds.ysn.ru),  
Chersky Mining Institute of the North,  
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
677980, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Получена редакцией 02.08.2022; получена после рецензии 26.12.2022; принята к печати 10.01.2023.  
Received by the editors 02.08.2022; received after the review 26.12.2022; accepted for printing 10.01.2023.