

Научная статья
УДК 622,7
DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-89-101

Разработка критической технологии извлечения золота из гале-эфельных отвалов (стратегическое минеральное сырьё)

Лидия Владимировна Шумилова¹, Константин Константинович Размахнин²

¹Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

^{1,2}Читинский филиал Института горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия

¹shumilovalv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>,

²constantin-const@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
18.11.2024

Одобрена после
рецензирования
21.11.2024

Принята к публикации
25.11.2024

Ключевые слова:

законсервированные минерально-сырьевые объекты, стратегические металлы, экологическая оценка, техногенное минеральное сырьё, глубокая переработка, технологические и экологические проблемы, системный анализ, золоторудные месторождения, эффективное освоение месторождений золота, критические технологии

Одним из путей решения проблем рационального и комплексного использования минерального сырья, в том числе законсервированных техногенных объектов, является разработка критических технологий их переработки с целью извлечения стратегических металлов, к которым относится золото. Объект исследования – законсервированный золотосодержащий минерально-сырьевой объект (гале-эфельные отвалы) с периодом консервации 10 лет. Цель исследования – выявление технологических и экологических проблем, стоящих перед золотодобывающей отраслью России, препятствующих научно-технологическому развитию и обеспечению независимости и конкурентоспособности государства, разработка критической технологии извлечения золота из гале-эфельных отвалов (стратегическое минеральное сырьё). Задачи исследования: провести системный анализ уровня развития техники и технологии золотодобычи в России; выявить технологические и экологические проблемы, стоящие перед золотодобывающей отраслью; изучить вещественный состав законсервированного минерально-сырьевого объекта (гале-эфельных отвалов); разработать критическую технологию извлечения золота из гале-эфельных отвалов и провести лабораторные исследования. Вещественный состав проб исследуемого минерального сырья изучали с использованием современного инструментария: оптической и электронной микроскопии, пробирного и атомно-адсорбционного методов анализа. На основе системного анализа уровня развития техники и технологии золотодобычи в России выявлены основные недостатки использования нестационарных обогатительных фабрик и установлены технологические, экологические проблемы, возникающие при эксплуатации полигонов кучного выщелачивания золота. Представлены следующие блок-схемы: экологической оценки последствий добычи полезных ископаемых открытым способом; влияния методов, процессов, элементов, взаимосвязей, сооружений на компоненты окружающей среды при переработке золотосодержащего минерального сырья; главных составляющих негативного воздействия предприятий переработки золотосодержащего сырья на окружающую среду. Разработана критическая технология глубокой переработки стратегического минерального сырья гале-эфельных отвалов, приведена её технологическая схема. Проведены экспериментальные исследования и представлены результаты. Рассматриваемая технология позволяет комплексно использовать минеральное сырьё, улучшить экологическую обстановку и повысить эффективность извлечения золота.

Original article

Development of a critical technology for extracting gold from landfills (strategic mineral raw materials)

Lidiya V. Shumilova¹, Konstantin K. Razmakhnin²

¹Transbaikal State University, Chita, Russia

^{1,2}Chita Branch of Mining Institute named after N. A. Chinakal, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia

¹shumilovalv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>, ²constantin-const@mail.ru

Information about the article

Received 18 November 2024

Approved after review
21 November 2024

Accepted for publication
25 November 2024

Keywords:

preserved mineral resources, strategic metals, environmental assessment, man-made mineral raw materials, deep processing, technological and environmental problems, system analysis, gold deposits, gold deposits effective development, critical technologies

One of the ways to solve the problems of rational and integrated use of mineral raw materials, including canned man-made facilities, is the development of critical technologies for their processing in order to extract strategic metals, which include gold. The object of research is a preserved gold-bearing mineral resource object (landfills) with a conservation period of 10 years. The purpose of the study is to identify the technological and environmental problems facing the Russian gold mining industry, hindering scientific and technological development and ensuring the independence and competitiveness of the state; to develop a critical technology for extracting gold from landfills (strategic mineral raw materials). Research objectives are as follows: to conduct a systematic analysis of the level of development of gold mining equipment and technology in Russia; to identify the technological and environmental problems facing the gold mining industry; to study the material composition of a preserved mineral resource facility (landfills); to develop a critical technology for extracting gold from landfills and conduct laboratory studies. Research methods are presented by the study of the material composition of the mineral raw materials samples, which has been carried out using modern tools: optical and electron microscopy, assay and atomic adsorption analysis methods. Based on a systematic analysis of the level of gold mining equipment and technology development in Russia, the main disadvantages of using non-stationary processing plants have been identified and technological and environmental problems arising during the operation of landfills for heap leaching of gold have been identified. The following flowcharts are presented: environmental assessment of the consequences of open-pit mining; the impact of methods, processes, elements, relationships, structures on environmental components during the processing of gold-containing mineral raw materials; the main components of the negative impact of gold-containing raw materials processing enterprises on the environment. A critical technology for deep processing of strategic mineral raw materials from landfills has been developed, and its technological scheme is given. Experimental studies have been conducted and the results are presented. This technology makes it possible to comprehensively use mineral raw materials, improve the environmental situation and increase the efficiency of gold extraction.

Введение. Учение В.И. Вернадского о ноосфере предполагает сопоставление масштабов деятельности человечества с геологической деятельностью природы. Например, экологическая оценка последствий добычи полезных ископаемых открытым способом позволяет понять масштабы воздействий (рис. 1).

Актуальность исследования. Техногенные отходы, особенно длительного периода хранения, являются ценным сырьём, поскольку произошли значительные гипергенные преобразования минералов, способствующие раскрытию сростков минералов ценных компонентов и пустой породы, окислению сульфидных минералов, дезинтеграции зёрен, в связи с чем появилась технологическая возможность извлечения благород-

ных металлов, что невозможно было осуществить ранее.

В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2022 г. № 2473-р «Об утверждении перечня основных видов стратегического минерального сырья» золото относится к стратегическим металлам, поэтому извлечение благородного металла из всех минерально-сырьевых источников, включая отходы, является актуальной научной задачей, имеющей важное государственное значение.

Объект исследования – законсервированный золотосодержащий минерально-сырьевой объект (гале-эфельные отвалы) с периодом консервации 10 лет.

Предмет исследования – критические технологии переработки стратегического минерального сырья.

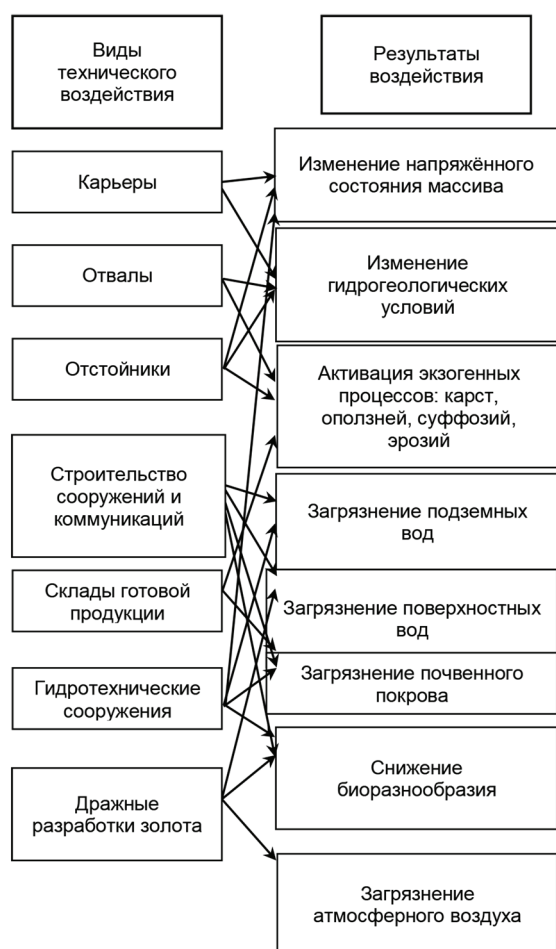


Рис. 1. Блок-схема экологической оценки последствий добычи полезных ископаемых открытым способом / **Fig. 1.** Block diagram of the environmental assessment of the open-pit mining consequences

Цель исследования – выявление технологических и экологических проблем, стоящих перед золотодобывающей отраслью России, препятствующих научно-технологическому развитию и обеспечению независимости, конкурентоспособности государства, разработка критической технологии извлечения золота из гале-эфельных отвалов (стратегическое минеральное сырьё).

Задачи исследования: провести системный анализ уровня развития техники и технологии золотодобычи в России; выявить технологические и экологические проблемы, стоящие перед золотодобывающей отраслью; изучить вещественный состав законсервированного минерально-сырьевого объекта (гале-эфельных отвалов); разработать критическую технологию извлечения золота из гале-эфельных отвалов и провести лабораторные исследования.

Методы исследования. Вещественный состав проб исследуемого минерального сырья рассматривали с использованием современного инструментария, оптической и электронной микроскопии (масс-спектрометром Agilent 7500C “AgilentTechnologies” и атомно-эмиссионным спектрометром с индуктивно связанной плазмой), атомно-абсорбционным методом (спектрометрами AAnalyst – 300 “PerkinElmer”, AA 6300 “Shimadzu”, ThermoSolAARM6 “ThermoElectron”), пробирным методом и др.

Разработанность темы исследования. Главными задачами и определяющими направлениями эффективного использования отходов горнорудного и горно-обогатительного производства в народнохозяйственном комплексе России являлись: вовлечение в переработку накопленного техногенного минерального сырья с целью извлечения из него труднообогатимых мелких классов золота, ранее не извлекаемых традиционными технологиями; совершенствование техники и технологии путём применения новых, в том числе и нетрадиционных, технологий, основанных на современных научных достижениях; повышение комплексности использования сырья за счёт применения ресурсосберегающих схем глубокой переработки отходов для строительной индустрии; создание базы данных по паспортизации отходов (в том числе и опасных) горнодобывающего и перерабатывающего комплекса¹ [5–6; 11; 12].

С экологической точки зрения учёным следует более активно включаться в процесс разработки критических технологий переработки стратегического минерального сырья и справочников наилучших доступных технологий (НДТ, Best Available Technologies) по кучному выщелачиванию (далее – КВ) [13; 15–17]. Остаётся крупной хозяйственной задачей всех государств мира необходимость разработки «п. 20. Экологически чистых технологий эффективной добычи и глубокой переработки стратегических и дефицитных видов полезных ископаемых (критических технологий)»².

Результаты исследования и их обсуждение. Анализируя в целом поэтапное развитие техники и технологии золотодобы-

¹ Масленицкий И. Н., Чугаев Л. В., Борбат В. Ф. Металлургия благородных металлов: учебник. – М.: Металлургия, 1987. – 431 с.

² О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: указ Президента РФ: [от 28 февраля 2024 г. № 145]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

чи, можно заключить, что от первоначально используемых пиromеталлургических методов понадобилось преодолеть менее 170 лет для того, чтобы перейти к новым технологическим процессам.

Методология выделения главных этапов развития технологии золотодобычи послужила основой дальнейшего системного анализа объектов обогащения и переработки золото-содержащих руд и песков с точки зрения не только технического совершенства, но и требований экологической безопасности.

В данном случае основной объект горного производства – обогатительная фабрика (рис. 2) – рассматривается как главная система, взаимосвязанная с двумя подсистемами (технологией и экологией), оказывающими непосредственное влияние на эффективность и уровень технического совершенства с учётом требований экологической безопасности для окружающей среды [8].

Для анализа состояния уровня техники и технологии золотопромышленного комплекса России использована методология выделения главных характерных этапов исторического развития [1].

Первый этап – использование простейших устройств и гравитационных аппаратов,

основанных на разделении минералов различной плотности в потоке воды, текущей по наклонной плоскости. При этом в качестве улавливающих покрытий аппаратов использовали шкуры животных, ворс, тростник, резиновые коврики и т. д.

Второй этап – повышение эффективности технологий извлечения золота из россыпей и руд с помощью избирательного агрегирования ртутию мелких и тонких частиц золота, трудно извлекаемых гравитационным способом.

Третий этап – применение поточных технологических линий на основе переносных и транспортно-разборных комплексов (устройств) модульного типа. К ним, в первую очередь, следует отнести промывочные сборно-разборные установки (промприборы), плавучие драги, оснащённые черпаковой цепью и обогатительным оборудованием, размещённым на деревянном или металлическом поддоне.

Четвёртый этап – получение новых данных по установлению физико-химических закономерностей флотационного извлечения мелких частиц в системе «жидкое – твёрдое – газ», разработка технологии получения золото-содержащих флотационных концентратов с целью дальнейшего выделения из них готовой продукции на заводах Урала [10].



Рис. 2. Блок-схема влияния методов, процессов, элементов, взаимосвязей, сооружений на компоненты окружающей среды при переработке золото-содержащего минерального сырья (направление оценки от общего к частному) / **Fig. 2.** Flowchart of the influence of methods, processes, elements, interconnections, structures on environmental components during the processing of gold-containing mineral raw materials (direction of assessment from general to particular)

Пятый этап – применение специальных геотехнологических методов добычи и переработки руд, техногенного сырья (подземного и кучного цианидного выщелачивания золота) [14; 19–24], использование развёрнутых технологических схем на основе различных сочетаний гравитационных, флотационных, гидрометаллургических и пирометаллургических методов [3; 4].

Шестой этап – селективная флокуляция труднообогатимого мелкого золота (в том числе и наноразмеров) с использованием избирательного взаимодействия поверхностного слоя минеральных зёрен с химическими реагентами (диспергаторами и селективными флокулянтами), магнитная флокуляция во взвесенесущем минеральном массопотоке мелкого золота с магнетитом (регулирование силы магнитного взаимодействия $H \text{ grad } H$ в зоне разделения сепаратора) и последующее гравитационное извлечение из потока сформированных агрегатов (сепарационных приставок). К этому этапу относится интенсивное развитие научного направления обогащения полезных ископаемых в XXI в. [2; 7; 9].

Седьмой этап – бактериальное, скважинное и блочное выщелачивание, экстракция, автоклавное выщелачивание, развитие методов интенсификации процессов выщелачивания, внедрение автоматических реакторов (модулей) выщелачивания, переработка металлоносных вод горных предприятий [16–18].

Методология выделения главных этапов развития технологии золотодобычи послужила основой дальнейшего системного анализа

техногенных объектов обогащения и переработки золотосодержащих руд и песков с точки зрения не только технического совершенства, но и требований экологической безопасности.

При обогащении золотосодержащих песков россыпных месторождений чаще используются нестационарные обогатительные фабрики – промывочные установки, малолифтные драги и драги средней мощности. Перечисленные промывочные установки на основе применяемых простейших улавливающих аппаратов – шлюзов – до сих пор из-за своей простоты имеют на практике преобладающее значение. Однако им, как и всем широко используемым методам гравитации, присущ целый ряд технологических недостатков (табл. 1), в первую очередь связанных с низкой эффективностью извлечения мелких зёрен ценного компонента – -250 мкм (извлечение в концентрат – менее 50 %). Достаточно отметить, что граничный уровень извлечения мелких классов даже с использованием центробежных сепараторов не позволяет снизить нижний уровень граничной крупности частиц до размеров менее 15 мкм.

Гравитационные промывочные фабрики наряду с присущими им характерными технологическими проблемами имеют также ряд существенных экологических проблем, связанных с большим водопотреблением и отчуждением земельных угодий, нарушением природного ландшафта, загрязнением прилегающих водотоков, низкой экологической надёжностью гидротехнических сооружений и систем оборотного водоснабжения.

Таблица 1 / Table 1

Основные недостатки, обусловленные технологическими и экологическими проблемами при использовании нестационарных обогатительных фабрик / The main disadvantages caused by technological and environmental problems when using non-stationary processing plants

<i>Основные недостатки / Main disadvantages</i>	
<i>технологические / technological</i>	<i>экологические / environmental</i>
Низкий процент гравитационного извлечения мелких классов золота (-250 мкм) / Low percentage of gravitational extraction of small grades of gold (-250 microns)	Изменение природного ландшафта в районе ведения горных работ / Natural landscape changing in the mining area
Неудовлетворительная эффективность дезинтеграции сцементированных глинистых золотосодержащих песков / Unsatisfactory efficiency of cemented clay gold-bearing sands disintegration	Большие площади отчуждаемых земельных угодий / Large areas of alienated land
Высокая трудоёмкость ручного труда при сполоске тяжёлой продуктивной фракции с улавливающих покрытий. Одноразовый сполоск концентрата / High labor intensity of manual labor when stripping heavy productive fraction from trapping coatings. A single-use splash of concentrate	Загрязнение прилегающих водотоков тонкодисперсными взвешенными частицами, накапливаемыми в технологических и сточных водах / Adjacent watercourses pollution by fine suspended particles accumulated in process and wastewater
Высокие потери золота с надрешётным продуктом гали / High gold losses with a superlattice gali product	Низкая надёжность используемых гидротехнических сооружений в системах оборотного водоснабжения / Low reliability of hydraulic structures used in circulating water supply systems

Основные недостатки / Main disadvantages	
технологические / technological	экологические / environmental
Повышенное соотношение жидкого к твёрдому на единицу промывки песков. Отсутствие комплексной переработки золотосодержащего сырья и продуктов шлюхообогатительных установок / Increased ratio of liquid to solid per unit of sand washing. Lack of complex processing of gold-containing raw materials and products of dressing plants	Нанесение экологического ущерба водным, биологическим, рыбохозяйственным ресурсам. Угнетение растительного и животного мира / Causing environmental damage to aquatic, biological, and fisheries resources. Oppression of flora and fauna

Оценка технологических и экологических проблем стационарных обогатительных фабрик. Используя системный анализ техники и технологии стационарных обогатительных фабрик при исследовании их отдельных элементов и звеньев (от общего к частному), выявлены наиболее характерные технологические и экологические проблемы. Анализ полученных данных позволяет заключить, что эффективность применяемых технологий извлечения золота из руд на стационарных фабриках в первую очередь определяется техническими возможностями раскрытия

минеральных комплексов преобладающего в России упорного и труднообогатимого сырья.

Оценка технологических и экологических проблем полигонов КВ. Перспективы развития методов КВ в первую очередь связаны с накопленными геотехногенными образованиями прошлых лет и вовлечением в переработку бедных и забалансовых руд (табл. 2).

Наибольшее негативное воздействие обогатительных фабрик на окружающую среду в первую очередь проявляется в значительных объёмах образования твёрдых и жидких отходов (рис. 3, 4).

Таблица 2 / Table 2

Технологические и экологические проблемы, возникающие при эксплуатации полигонов КВ золота / Technological and environmental problems arising during landfills maintenance for gold heap leaching

Проблемы / Problems	
технологические / technological	экологические / environmental
Низкая эффективность раскрытия бедных, тонкокрапленых, упорных и труднообогатимых руд / Low efficiency of disclosure of poor, thinly grained, stubborn and difficult-to-enrich ores	Выбросы и сбросы высокотоксичных загрязняющих веществ в окружающую среду (подземные и поверхностные воды, атмосферный воздух) / Emissions and discharges of highly toxic pollutants into the environment (groundwater and surface waters, atmospheric air)
Сезонность работы установки КВ / Seasonal operation of a heap leaching plant	Отчуждение земельных угодий и нарушение природного ландшафта / Alienation of land and disturbance of the natural landscape
Отсутствие новых приёмов и оборудования для интергранулярного разрушения горных пород и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов / Lack of new techniques and equipment for the intergranular destruction of rocks and opening of finely dispersed mineral complexes	Применение токсичных растворителей золота, ведущих к образованию опасных отходов, оказывающих негативное воздействие на компоненты окружающей среды и представляющих потенциальную опасность для здоровья человека / The use of toxic gold solvents leading to the formation of hazardous wastes that have a negative impact on environmental components and cause potential danger to human health
Низкая эффективность перевода полезного компонента в рабочий раствор при сезонном промерзании складированного штабеля материала / Low efficiency of transferring a useful component into a working solution during seasonal freezing of a stacked material	Необходимость обезвреживания опасных отходов перед проведением рекультивации нарушенных земель / The need to neutralize hazardous waste before reclamation of disturbed lands
Высокие технологические потери золота / High technological losses of gold	Низкая надёжность систем замкнутого водооборота за счёт применения традиционных (механических) методов водоподготовки / Low reliability of closed water circulation systems due to the use of traditional (mechanical) methods of water treatment
Отсутствие методов предварительной концентрации ценных компонентов перед складированием горных пород в рудный штабель / Lack of methods for pre-concentration of valuable components before storing rocks in an ore stack	

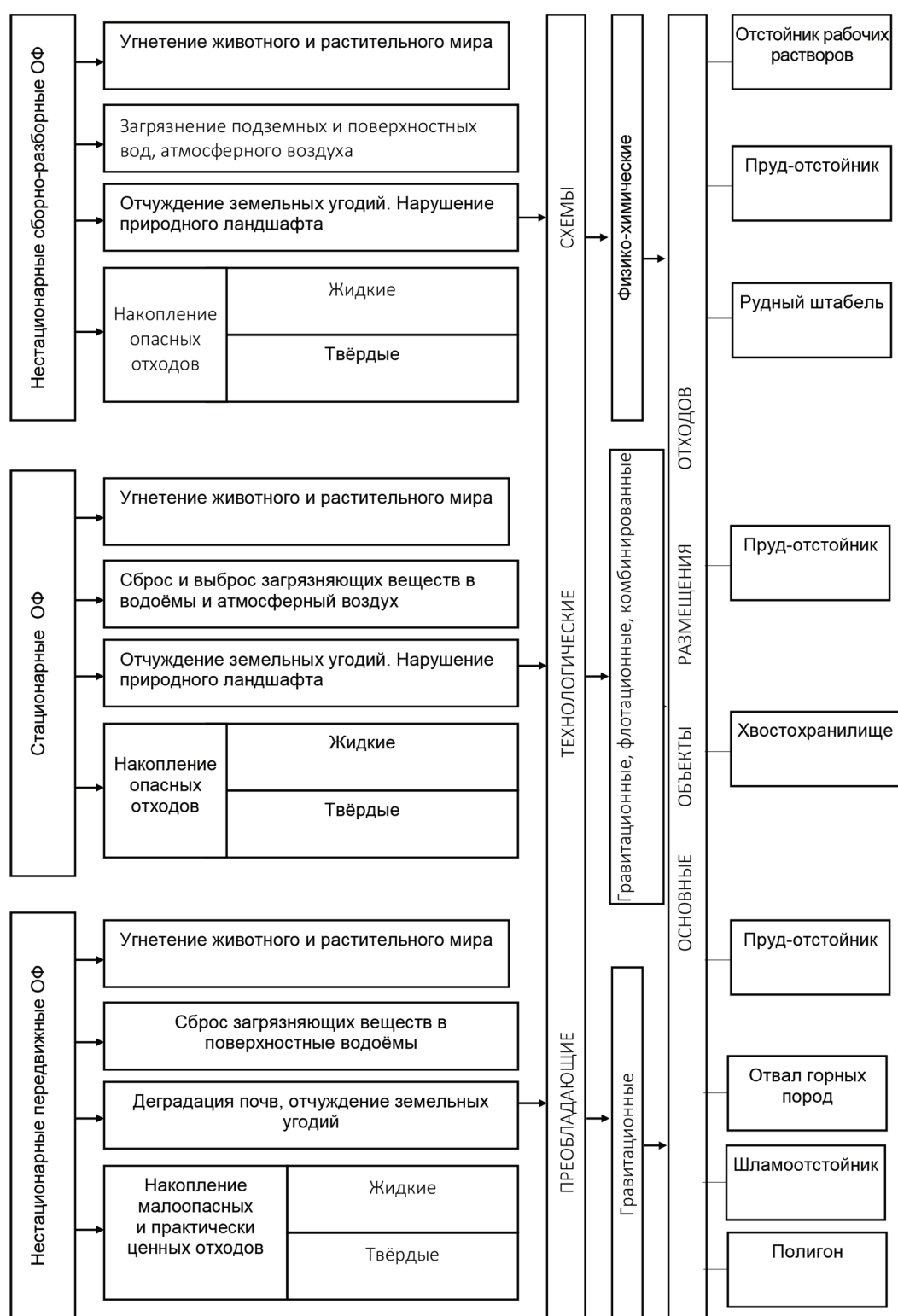


Рис. 3. Блок-схема главных составляющих негативного воздействия обогатительной фабрики на окружающую среду при переработке золотосодержащего сырья / **Fig. 3.** Block diagram of the main components of the concentrator negative impact (OF) on the environment during the processing of gold-containing raw materials

Примечание: ОФ – обогатительная фабрика



Рис. 4. Блок-схема требований к решениям по безопасному и эффективному освоению золотосодержащих месторождений / **Fig. 4.** Flowchart of requirements for solutions for the safe and efficient development of gold-bearing deposits

Определение класса опасности отходов для окружающей природной среды предусматривает осуществление следующих мероприятий: получение разрешительной документации с целью использования практически неопасных техногенных накоплений в различных отраслях промышленности; разработка эффективных технологических схем дробильно-сортировочных установок с целью вовлечения отходов в сферу хозяйственной деятельности (в первую очередь для получения песка, щебня и других строительных материалов); использование отходов при отсыпке дорог, засыпке рельефных неровностей закладки выработанного пространства.

К возможным направлениям использования отходов можно отнести горнотехническую рекультивацию. Актуальные научные направления исследования: обезвреживание, утилизация и безопасное складирование опасных отходов; захоронение отходов.

Проблема переработки золотосодержащего сырья техногенных месторождений заключается в технологической упорности геоматериала, обусловленной вкрапленностью ценного компонента в минерале-носителе. Для решения данной проблемы и увеличения

золотовалютных резервов требуется разработка критических технологий.

Результаты изучения вещественного состава. Содержание золота в исследуемом минеральном сырье составило 0,35 г/м³, серебра – 3,9 г/м³, что определяли пробирным и пробирно-атомно-абсорбционным методами. Результаты количественного анализа геоматериала: преобладающий компонент – диоксид кремния (69,3 %), а также наблюдались оксиды алюминия (15,4 %), железа (5,9 %), титана (0,61 %), магния (1,15 %) и других металлов, которые составляют 97,91 %, присутствовали Pb, Cd, S, Mo, W, Ni, Co, Cr и другие элементы.

При ситовом анализе контролировались содержание золота по классам крупности и сходимость результатов прямого определения с балансowymi расчётами и паспортными данными. По гранулометрической характеристике технологической пробы установлено, что основное количество (88,46 %) золота сосредоточено преимущественно в мелких и тонких классах крупности (-0,2+0,1 мм, -0,1+0,05 мм, -0,05 мм). Максимальное содержание золота (0,7 г/м³) отмечается в классе -0,1+0,05 мм, а минимальное (0,06 г/м³) – в классах -0,5+0,2 мм.

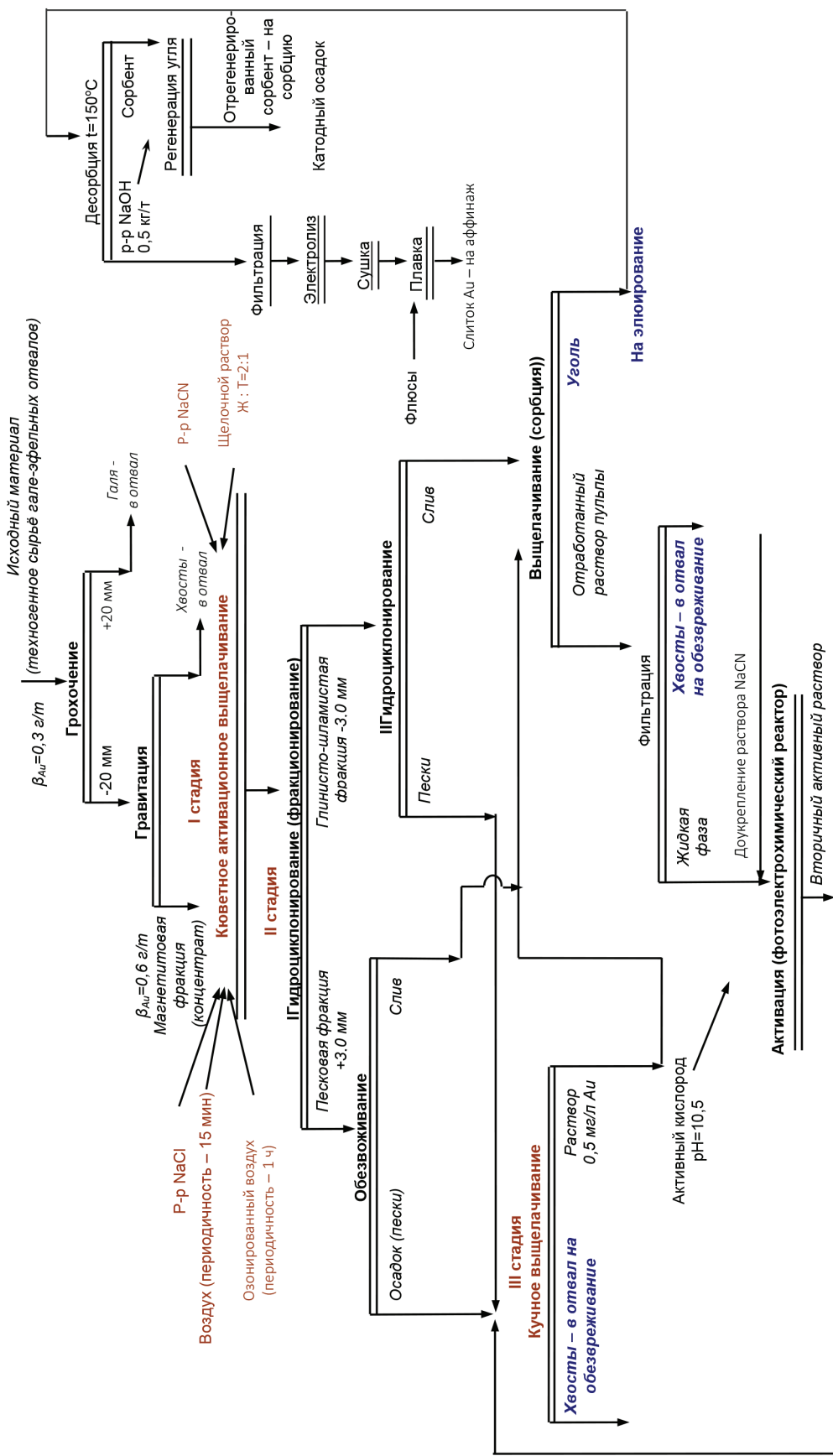


Рис. 5. Критическая технология глубокой переработки стратегического минерального сырья гален-эфеленых отвалов / Fig. 5. Critical technology of deep processing of strategic mineral raw materials of landfills

Рациональный анализ на золото выполнялся по методике ОАО «Иргиредмет». В результате изучения форм нахождения и характера ассоциации золота в отходах выявлено отсутствие свободного золота и ассоциированного с сульфидами. Золото обнаружено в сростках с покрытиями на поверхности – 2,3 %, «запечатанное в кварце» – 13,5 %, в «рубашке» (под пленкой окислов) – 28,6 %, в магнетите – 55,6 %. Покрытия распределяются по всему зерну или отмечаются участками. Содержание золота в геоматериале по балансу – 0,3 г/м³. Таким образом, в технологическом отношении минеральное сырьё гале-эфельных отвалов является упорным для извлечения из него золота классическими гидрометаллургическими методами.

Авторами разработана критическая технология глубокой переработки стратегического минерального сырья гале-эфельных отвалов, представленная на рис. 5 (с. 97). Экспериментальные исследования глубокой переработки стратегического минерального сырья гале-эфельных отвалов проводились на укрупнённой лабораторной пробе массой 600 кг.

Комплекс первой стадии выщелачивания. Технологические параметры: продолжительность выщелачивания – 6 ч; расход NaCl – 15 г/т (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Результаты обработки хлором / Results of chlorine treatment

Время обработки, ч / Processing time, h	0	1	2	3	4	5
C _{Cl} , мг/л / CCl, mg/l	0	0,15	0,35	0,55	0,7	0,9

Комплекс второй стадии выщелачивания (кучный вариант). Введение операции окомкования позволяет повысить концентрацию золота в продуктивных растворах на 20 % (до 0,4 мг/л), а извлечение золота – на 8–9 % при одновременном снижении извлечения серебра в среднем на 4–5 %.

Общая продолжительность выщелачивания окомкованного магнетитового концентрата в укрупнённом масштабе составила 30 сут (при выщелачивании неокомкованного концентрата – 60 сут).

Комплексы десорбции и регенерации угля, электролиза, плавки катодного осадка – стандартные. Извлечение ценного компонента из магнетитовой фракции с инкапсулированным золотом, полученной из техногенного сырья гале-эфельных отвалов двухстадиальным выщелачиванием поликомпонентными химическими комплексами, составило в жидкую фазу 90,1 % (рис. 6).

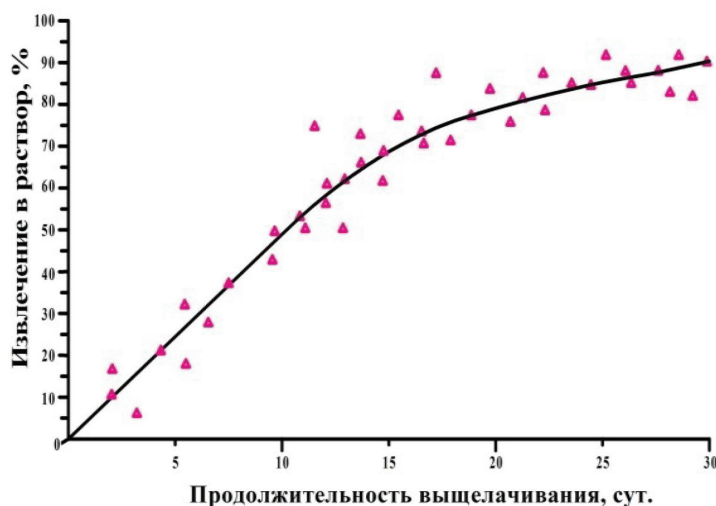


Рис. 6. Зависимость извлечения золота от продолжительности выщелачивания / Fig. 6. Dependence of gold extraction on the duration of leaching

Показатель абсолютного извлечения золота из исходного сырья составил 95 %. В лабораторных условиях подтверждена возможность получения лигатурного золота в слитках с массовой долей 10 % и более в соответствии с ТУ 117-2-7-75.

Применение комплекса гравитации позволяет сконцентрировать в магнетитовой фракции минеральные зёрна, содержащие ультрадисперсные включения золота, и значительно сократить объёмы перерабатываемого минерального сырья. Герметичность

электрохимического реактора, озонатора и чана позволяет создать активную дезинтегрирующую комплексобразующую среду и сократить газовые потери.

Специально оборудованная бетонная кювета на глубине 5–8 м над уровнем земли, инженерные мероприятия для проведения КВ в период отрицательных температур и установка чана вместе с гидроциклонами, сорбционными колоннами в здании стационарного цеха позволяют осуществлять процесс выщелачивания круглогодично.

Заключение. На основе системного анализа уровня развития техники и технологии золотодобычи в России выявлены основные недостатки использования нестационарных обогатительных фабрик, а также технологические и экологические проблемы, возникающие при эксплуатации полигонов КВ золота. Результаты изучения вещественного состава законсервированных минерально-сырьевых объектов позволили разработать критическую технологию извлечения стратегического металла – золота.

Список литературы

1. Аренс В. Ж., Вылегжанин А. Н., Журавлева И. П. О горном законодательстве в РФ // Горный журнал. 2023. № 3. С. 78.
2. Гурман М. А. Использование термохимических методов при переработке золотосодержащих пирит-арсенопиритовых концентратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 0В 4. С. 180–186.
3. Дементьева Н. А. Флотация упорных золотосодержащих руд // Золотодобыча. 2010. № 10. С. 11–14.
4. Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Пунцукова Б. Т., Алексейчук Д. А. Исследования селективности действия сочетания ксантогената и дитиофосфата с тиокарбаматом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. № 3. С. 105–115.
5. Лодейщиков В. В. Извлечение золота из упорных сульфидных и углисто-сульфидных руд: аналитический обзор. Иркутск: Иргиредмет, 2007. 183 с.
6. Мязин В. П., Карасев К. И. Весомый эффект интенсивных технологий. Ускорение научно-технического процесса в горно-добывающем комплексе Забайкалья на основе внедрения новых технических решений // Недра Востока. 1993. № 12. С. 9–13.
7. Мязин В. П. Прогнозирование развития новой техники и технологий по переработке золотосодержащего сырья в XXI веке (патентный анализ) // V Конгресс обогатителей стран СНГ: материалы конгресса. М., 2005. Т. 1. С. 18–22.
8. Мязин В. П. Системный анализ уровня развития техники и технологии золотодобычи в России. Технологические и экологические проблемы // Вестник Забайкальского центра Российской академии естественных наук. 2008. № 1. С. 87–93.
9. Патент № 2497960, Российская Федерация. Способ сепарации минеральных частиц с предварительной обработкой магнитным коллоидом / Бакшеева И. И., Брагин В. И. № 2012120957; заявл. 22.05.2012; опубл. 10.11.2013. Бюл. № 31.
10. Плаксин И. Н. Гидрометаллургия. Избранные труды. М.: Наука, 1972. 278 с.
11. Рассказов И. Ю., Литвинцев В. С., Мирзаханов Г. С., Банщикова Т. С. Приоритетные направления освоения техногенных комплексов рудно-россыпных месторождений // Недропользование. XXI век. 2016. № 1. С. 46–55.
12. Секисов А. Г., Лавров А. Ю., Рассказова А. В. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. Чита: ЗабГУ, 2019. 306 с.
13. Технология обогащения медных и медно-цинковых руд Урала / под общ. ред. В. А. Чантурия, И. В. Шадруновой. М.: Наука, 2016. 387 с.
14. Фазлуллин М. И. Кучное выщелачивание благородных металлов. М.: Академия горных наук, 2001. 646 с.
15. Федотов П. К., Сенченко А. Е., Федотов К. В., Бурдонов А. Е. Исследования обогатимости сульфидных и окисленных руд золоторудных месторождений Алданского щита // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 218–227.
16. Шумилова Л. В., Хатькова А. Н., Размахнин К. К., Простакишин М. Ф. Извлечение золота и серебра из шихты отходов горных предприятий // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 79–90. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-79-90.
17. Шумилова Л. В., Хатькова А. Н., Размахнин К. К., Простакишин М. Ф. Исследование экологоэкономических методов повышения извлечения золота из упорного минерального сырья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 3. С. 74–90. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-3-74-90.
18. Яковлев В. Л., Корнилов С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья. Екатеринбург: Изд-во Уральского отделения РАН, 2018. 360 с.
19. Anthony S., Purkiss R. Heap leaching base metals from oxide ores. Patent. WO 2004031422 A1. 2004.
20. Liu H., Girvan Roche E. Saproiliteneutralisation of heap leach process. Patent. EP 2285993 A1. 2009.

21. Lupo J. F. Sustainable issues related to heap leaching operations // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2012. No. 112. P. 1021–1030.
22. Mendes F. D., Costa S. An ore heap leaching process for metal production with the aid of solar energy. Patent. WO 2007140554 A1. 2007.
23. Rautenbach G. F. Heap leaching of copper. Patent. WO 2015059551 A1. 2015.
24. Brian McNab. Metallurgists & mineral industry specialists, IIR crushing & grinding conference. Townsville, Qld. 29. 2006.

References

1. Arens V. Zh., Vylegzhaniy A. N., Zhuravleva I. P. On mining legislation in the Russian Federation. Mining Journal, no. 3, p. 78, 2023. (In Rus.)
2. Gurman M. A. The use of thermochemical methods in the processing of gold-containing pyrite-arsenopyrite concentrates. Mining Information and Analytical Bulletin, no. 4, pp. 180–186, 2013. (In Rus.)
3. Dementieva N. A. Flotation of resistant gold-bearing ores. Gold Mining, no. 10, pp. 11–14, 2010. (In Rus.)
4. Ignatkina V. A., Bocharov V. A., Puntukova B. T., Alekseychuk D. A. Studies of the selectivity of the action of a combination of xanthogenate and dithiophosphate with thionocarbamate. Physico-Technical Problems of Mineral Development, no. 3, pp. 105–115, 2010. (In Rus.)
5. Lodeishchikov V. V. Extraction of gold from stubborn sulfide and carbon-sulfide ores: an analytical review. Irkutsk: Irgiredmet, 2007. 183 p. (In Rus.)
6. Myazin V. P., Karasev K. I. Significant effect of intensive technologies. Acceleration of the scientific and technical process in the mining complex of Transbaikalia based on the introduction of new technical solutions. The Bowels of the East, no. 12, pp. 9–13, 1993. (In Rus.)
7. Myazin V.P. Forecasting the development of new equipment and technologies for processing gold-containing raw materials in the XXI century (patent analysis). V Congress of concentrators of the CIS countries: materials of the Congress. Moscow, 2005. Vol. 1. P. 18–22. (In Rus.)
8. Myazin V.P. System analysis of the level of development of gold mining equipment and technology in Russia. Technological and environmental problems. Bulletin of the Trans-Baikal Center of the Russian Academy of Natural Sciences, no. 1, pp. 87–93, 2008. (In Rus.)
9. Patent No. 2497960, Russian Federation. Method of separation of mineral particles with pretreatment with a magnetic colloid / Baksheeva I.I., Bragin V.I. No. 2012120957; application 22.05.2012; publ. 10.11.2013. Byul. No. 31. (In Rus.)
10. Plaksin I. N. Hydrometallurgy. Selected works. Moscow: Nauka, 1972. 278 p. (In Rus.)
11. Rasskazov I. Yu., Litvintsev V. S., Mirzekhanov G. S., Banshchikova T. S. Priority directions of development of technogenic complexes of ore-placer deposits. Subsurface Use. XXI century, no. 1, pp. 46–55, 2016. (In Rus.)
12. Sekisov A. G., Lavrov A. Yu., Rasskazova A.V. Photochemical and electrochemical processes in geotechnology. Chita: ZabGU, 2019. 306 p. (In Rus.)
13. Technology of enrichment of copper and copper-zinc ores of the Urals / under the general editorship of V. A. Chanturia, I. V. Shadrinova. Moscow: Science, 2016. 387 p. (In Rus.)
14. Fazlullin M. I. Heap leaching of precious metals. Moscow: Academy of Mining Sciences, 2001. 646 p. (In Rus.)
15. Fedotov P. K., Senchenko A. E., Fedotov K. V., Burdonov A. E. Studies of the enrichment of sulfide and oxidized ores of gold deposits of the Aldan shield. Notes of the Mining Institute, vol. 242, pp. 218–227, 2020. (In Rus.)
16. Shumilova L. V., Khatkova A. N., Razmakhnin K. K., Prostakishin M. F. Extraction of gold and silver from the charge of waste from mining enterprises. Transbaikalian State University Journal, vol. 29, no. 2, pp. 79–90, 2023. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-79-90. (In Rus.)
17. Shumilova L. V., Khatkova A. N., Razmakhnin K. K., Prostakishin M. F. Investigation of environmentally friendly methods for increasing gold extraction from stubborn mineral raw materials. Transbaikalian State University Journal, vol. 29, no. 3, pp. 74–90, 2023. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-3-74-90. (In Rus.)
18. Yakovlev V. L., Kornilkov S. V., Sokolov I. V. Innovative basis of the strategy of integrated development of mineral resources. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. 360 p. (In Rus.)
19. Anthony S., Purkiss R. Heap leaching base metals from oxide ores. Patent. WO 2004031422 A1. 2004. (In Eng.)
20. Liu H., Girvan Roche E. Saproliteneutralisation of heap leach process. Patent. EP 2285993 A1. 2009. (In Eng.)
21. Lupo J. F. Sustainable issues related to heap leaching operations. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, no. 112, pp. 1021–1030, 2012. (In Eng.)

22. Mendes F. D., Costa S. An ore heap leaching process for metal production with the aid of solar energy. Patent. WO 2007140554 A1. 2007. (In Eng.)

23. Rautenbach G. F. Heap leaching of copper. Patent. WO 2015059551 A1. 2015. (In Eng.)

24. Brian McNab. Metallurgists & mineral industry specialists, IIR crushing & grinding conference. Townsville, Qld. 29. 2006. (In Eng.)

Информация об авторах

Шумилова Лидия Владимировна, д-р техн. наук, доцент, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; зав. лабораторией геотехнологии, минералоподготовки и горного машиноведения, Читинский филиал Института горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия; shumilovalv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>. Область научных интересов: геоэкология, обогащение полезных ископаемых, физико-химическая геотехнология, инновационные технологии, экоинженерия.

Размахнин Константин Константинович, д-р техн. наук, доцент, руководитель, Читинский филиал Института горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия; constantin-const@mail.ru. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, геоэкология, сорбционные технологии, гидрометаллургия.

Information about the authors

Shumilova Lidiya V., doctor of technical sciences, associate professor, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia; head of Geotechnology, Mineral Preparation and Mining Engineering laboratory, Chita Branch of the Mining Institute named after N. A. Chinakal, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia; shumilovalv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>. Scientific interests: geoecology, mineral processing, physical and chemical geotechnology, innovative technologies, eco-engineering.

Razmakhnin Konstantin K., doctor of technical sciences, associate professor, head of the Chita Branch of Mining Institute named after N. A. Chinakal, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia; constantin-const@mail.ru. Scientific interests: mineral processing, geoecology, sorption technologies, hydrometallurgy.

Вклад авторов в статью

Шумилова Л. В. – разработка идеи исследования, анализ разработанности темы, непосредственное руководство экспериментальными исследованиями, анализ полученных результатов, разработка технологической схемы, формулировка выводов, подбор библиографии, написание текста.

Размахнин К. К. – обработка результатов исследований с применением методов прикладной математики, математической статистики, программ Microsoft Excel, STATISTICA.

The authors` contribution to the article

Shumilova L. V. – development of the research idea, analysis of the topic development, direct management of experimental research, analysis of the results, technological scheme development, conclusions formulation, bibliography selection, writing a text.

Razmakhnin K. K. – processing of research results using methods of applied mathematics, mathematical statistics, Microsoft Excel, STATISTICA programs.

Для цитирования

Шумилова Л. В., Размахнин К. К. Разработка критической технологии извлечения золота из галеефельных отвалов (стратегическое минеральное сырьё) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 4. С. 89–101. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-89-101.

For citation

Shumilova L. V., Razmakhnin K. K. Development of a critical technology for extracting gold from landfills (strategic mineral raw materials) // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 4. P. 89–101. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-89-101.