

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.271.1:236.73

DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-2-14-22



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОГЛИНИСТЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ ПЕСКОВ РОССЫПЕЙ

Хрунина Н.П.

Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Хабаровск, Россия

Аннотация. В настоящее время рост ресурсного потенциала страны во многом зависит от изучения природных и техногенных высокоглинистых золотоносных россыпей Дальневосточного региона, а также развития технологической и технической базы освоения. Проанализированы известные методы и средства переработки высокоглинистых золотоносных песков, применяемые и предлагаемые к применению на объектах с повышенным содержанием мелких фракций ценных компонентов. Исследована и экспериментально-аналитическим путем установлена полиминеральность россыпи золотоносного месторождения Антуанской площади южной части Хабаровского края. Выявлено в песках преобладание по содержанию золота, серебра, марганца, ванадия, цинка, вольфрама, никеля и других ценных компонентов. С помощью лазерного дифракционного микроанализатора установлен значительный объем частиц микронного размера, в том числе ценных компонентов, при этом установлено преобладающее распределение частиц минералов по размерам менее 45 мкм. Во вмещающей породе установлено преобладание глинистого минерала монтмориллонита. С учетом обеспечения экологичности и эффективности процесса переработки обоснована необходимость развития направления, связанного с использованием гидродинамического воздействия на высокоглинистые породы россыпей. При проектировании комплекса средств учитываются также гранулометрия, массовая доля илисто-глинистой фракции, морфология золота и других ценных компонентов. Представлены практические подходы к освоению рассматриваемого месторождения посредством усовершенствованных технических средств. Для обеспечения технологической эффективности и ресурсосбережения при переработке высокоглинистых пород предлагается геотехнологический комплекс с гидродинамическими кавитационными реакторами, не требующими дополнительных энергозатрат, и автоматические установки гравитационного обогащения с обеспечением автоматизированного подъема трафаретов или автоматизированного сполоска посредством поворота улавливающей поверхности. Выполнение автоматизированных установок многоуровневыми позволит повысить производительность также за счет увеличения площади улавливающей поверхности в 40 раз.

Ключевые слова: высокоглинистые пески, дезинтеграция, геотехнологический комплекс, кавитационный реактор.

© Хрунина Н.П., 2021

Для цитирования

Хрунина Н.П. Совершенствование комплекса средств для переработки высокоглинистых золотоносных песков россыпей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №2. С. 14–22. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-14-22>



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

IMPROVING THE COMPLEX OF MEANS FOR THE PROCESSING OF HIGH-CLAY GOLD-BEARING SANDS OF PLACERS

Khrunina N.P.

Institute of Mining, the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract. Now, growth of the country's resource potential largely depends on the study of natural and man-made high-clay gold-bearing placer deposits of the Far Eastern Region, and development of technologies and equipment for exploitation. This paper analyzes known methods and means of processing high-clay gold-bearing sands applied and proposed for their use at facilities with a higher content of fine fractions of valuable components. The author studied and proved by experiments and analysis a polymimetallic nature of placers of gold-bearing deposits on Antoine Square in the southern part of the Khabarovsk Territory. Sands mainly contain gold, silver, manganese, vanadium, zinc, tungsten, nickel and other valuable components. A laser diffraction microanalysis has established a significant amount of micron-sized particles, including valuable components. It was found that a predominant distribution of mineral particles in sizes is less than 45 μm . Enclosing rock is dominated by montmorillonite, a clay mineral. Taking into account sustainability and efficiency of the processing technology, it is reasonable to develop the use of hydrodynamic effects on high-clay rocks of placers. When designing a set of facilities, it is required to factor in granulometry, a mass fraction of a silt-clay fraction, gold morphology and other valuable components. The paper presents practical approaches to the development of the field in question with improved technical facilities. To ensure technological efficiency and resource conservation, when processing high-clay rocks, it is proposed to use a geotechnical complex with hydrodynamic cavitation reactors that do not require additional energy, and automatic gravity dressing plants with automated lifting of riffles or automated washing by turning a collecting surface. By designing such automated plants as multi-level ones, we can improve performance by increasing a collecting surface area by 40 times.

Keywords: high-clay sands, disintegration, geotechnical complex, cavitation reactor.

For citation

Khrunina N.P. Improving the Complex of Means for the Processing of High-Clay Gold-Bearing Sands of Placers. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 2, pp. 14–22. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-14-22>

Введение

Рост ресурсного потенциала страны в области добычи полезных ископаемых все больше определяется совершенствованием гравитационных технических средств переработки, имеющих преимущества экологического плана. В настоящее время потери мелкого и тонкого золота в процессе эксплуатации высокоглинистых россыпей порой достигают 80%. Обоснована возможность совместной переработки золотосодержащих руд и техногенных отходов россыпной золотодобычи. Это дает возможность рассматривать в комплексе минерально-сырьевые базы как запасы единого месторождения. Данный подход обеспечивает снижение удельных капитальных вложений и эксплуатационных затрат за счет увеличения производственной мощности предприятия [1, 2]. Однако освоение таких комплексов требует применения оборудования, обеспечивающего достаточно эффективное разрушение и дезинтеграцию вмещающих пород. Развиваются нетрадиционные высокоэнергетические методы исследования дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов на основе излучающих систем [3].

Анализ работы барабанных дезинтеграторов и гидравлических центробежных дезинтеграторов (ГЦД), которые являются наиболее известными новейшими и испытанными в производственных условиях конструкциями, показывает, что данные установки применимы для предварительной дезинтеграции глинистых песков [4]. К недостаткам их эксплуатации можно отнести неизбежное окомковывание с образованием глинистых окатышей при повышенном содержании глины в песках. Однако надо отметить, что тангенциальный и противоточный принцип подачи пульпы в ГЦД, а также использование кавитирующих элементов на внутренней поверхности, позволяет надеяться, при определенной доработке, на существенное достижение необходимого эффекта при использовании на высокоглинистых россыпях. В уплотненной высокоглинистой среде частицы песков и минеральных компонентов имеют достаточно прочные связи. Исследования дезинтеграции песков с повышенным содержанием глин лежат в области происходящих динамических взаимодействий между рабочим органом и породной массой. Сюда относятся разнообразные эффекты понижения прочности вслед-

ствие физико-механического влияния, состоящего в понижении удельной свободной поверхностной энергии твердого тела. Из-за отрицательного влияния на технологический процесс окатышей глины, образующихся на наклонных грохотах с круговой амплитудой колебаний, а также процесса окомкования при применении скруббер-бутар для более полноценной работы комплекса рекомендовано использовать два двухдечных промывочных горизонтальных грохотов с линейной амплитудой колебаний [5]. Также для частичного устранения данных недостатков предложена установка HAVER HYDRO-CLEAN, предназначенная для процесса отделения глинистых агрегатов от кристаллической части минерального сырья путем их дезинтеграции с промывкой под высоким давлением воды.

В зависимости от размера установка оснащается двумя и более роторами и разным числом форсунок. Под струями высокого давления форсунок (50–140 атм) вращающегося ротора (около 100 об/мин) упорная руда фрагментами 0–120 мм дезинтегрируется на кристаллическую и илистую фракции. В зависимости от процентного содержания, вязкости глины и качества промывки оператор регулирует скорость разгрузочного конвейера [5]. К недостаткам данной конструкции можно отнести сложность изготовления и эксплуатации, а также дополнительное энергопотребление, затрачиваемое на вращение ротора и дополнительную подачу воды. Кроме того, применение данной конструкции на объектах с преимущественно тонкодисперсными частицами ценных компонентов не обеспечит снижение их потерь.

Большое значение имеют исходные механические свойства песков и их структура, дисперсность, наличие пористости, процессы возникновения и развития дефектов, зарождения, движения и выхода дислокаций. Характер механических деформационных воздействий влияет на скорость и степень понижения прочности или на стимуляцию пластического течения породы [6–18]. Эксплуатация широко используемого оборудования на ряде предприятий показывает, что существующие промывочные аппараты не позволяют эффективно отделять глинистые и шламистые составляющие от кристаллической части руды.

Постановка проблемы и методы исследований

Характеристика вмещающих пород, величина глинистой составляющей, крупность и форма

золотин, повышенное содержанием мелких и тонких фракций, режим работы промывочных агрегатов и ряд других факторов влияют на технологические параметры переработки золотоносных песков. Исследования в данном направлении позволяют получить новые знания и обосновать последствия этих процессов для возобновления ресурсного потенциала россыпных месторождений. Освоение новых объектов высокоглинистых песков россыпей Дальневосточного региона требует их детального изучения, при этом особого внимания заслуживают пески с повышенным содержанием мелкого, тонкодисперсного, пластинчатого золота. Одним из характерных месторождений, участки которого имеют высокое содержание мелких и тонкодисперсных глинистых частиц, является золотоносная россыпь Антуанской площади южной части Хабаровского края.

Целью настоящего исследования является развитие направления, связанного с использованием гидродинамического воздействия на высокоглинистые породы россыпей с учетом гранулометрии, массовой доли илисто-глинистой фракции, морфологии золота и других ценных компонентов. Для достижения поставленной цели на основе феноменологического подхода предложено обоснование инновационных средств, интенсифицирующих процесс переработки на основе конструкций комплексного действия.

Результаты исследования и их обсуждение

Для прогнозирования комплекса мер и моделирования эффектов, влияющих на процессы дезинтеграции, принципиальное значение имеет оценка минимального размера частиц в образцах (рис. 1). Посредством оборудования Центра коллективного пользования ИГД ДВО РАН (ХФИЦ ДВО РАН) исследовалась дисперсность фракции менее 1000 мкм, определялся глинистый состав, проведен анализ магнитной, слабомагнитной и немагнитной фракций шлихов комплексного золотоносного месторождения Антуанской площади южной части Хабаровского края. При спектральном и химико-спектральном анализе проб использовалась установка «Гранд» (Новосибирск) и электронный микроскоп JCM-600 PLUS NEOSCOPE (JEOL, Япония). Спектрометрический анализ элементов показал, что, кроме золота и серебра, имеет место преобладание по содержанию марганца, ванадия, цинка, вольфрама, никеля, фосфора, меди, хрома, кобальта, лития (рис. 2).



Рис. 1. Образец пробы комплексного золотоносного месторождения

Fig. 1. Sample of a compound gold deposit

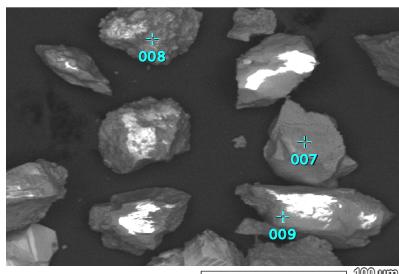


Рис. 2. Изображение сканируемых поверхностей исследуемых частиц с помощью электронного микроскопа

Fig. 2. Scanned surfaces of the particles under study using an electron microscope

С помощью лазерного дифракционного микронализатора установлен значительный объем частиц микронного размера, в том числе ценных компонентов, при этом распределение частицы минералов по размерам менее 45 мкм составляет от 41 до 92%. На лабораторных электронных весах OHAUS Scout Pro SPU202 (Mettler Toledo, Китай) с систематической погрешностью $\pm 0,001$ г определялась масса четырех фракций: +2; -2+1; -1+0,5; -0,5 мм. Исходный вес исследуемых выборок образцов составил 1500 ± 10 г. Среднее содержание в исследуемых образцах фракций размером более 4 мм составило от 1 до 19%, фракции -4 + 1 мм – от 5 до 16 %, фракции -1 + 0,5 мм – от 11 до 25%, а фракции менее 0,5 мм составили в среднем от 40 до 83% (рис. 3).

Фазовый анализ проб исследуемого объекта месторождения Нахи на наличие глинистых минералов изучался с помощью дифрактометра ДРОН-7, напряжение трубки 40 кВ, ток накала 20 μ A, шаг сканирования по углу 2Theta – 0,05 град. Для идентификации линий рентгеновских спектров использовался программный пакет PDWin (НПП «Буревестник»). Чувствительность к содержанию вещества у дифрактометра ДРОН-7 составляет 2–3%, погрешность угла луча 0,3°. Во вмещающей породе установлено преобладание глинистого минерала монтмориллонита.

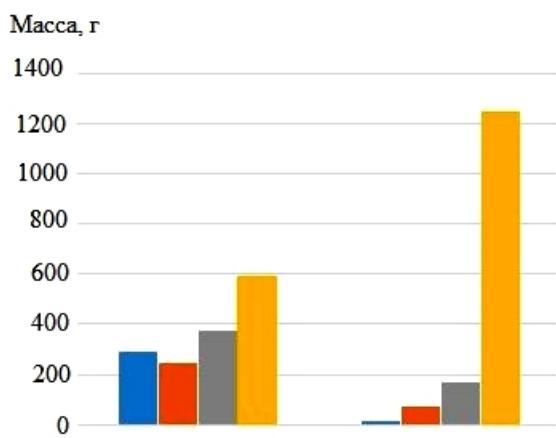


Рис. 3. Гистограмма распределения массы материала в граммах по фракциям слева на право по двум скважинам, мм: +4; -4 + 1; -1 + 0,5; -0,5

Fig. 3. Material mass distribution histogram in grams by fractions from left to right for two wells, mm: +4; -4 + 1; -1 + 0,5; -0,5

Технические и технологические разработки

Для переработки высокоглинистых золотоносных комплексных песков россыпей с преимущественно мелкими и тонкими частицами ценных компонентов предлагается геотехнологический комплекс (рис. 4) с автоматическими установками гравитационно-кавитационного типа [19–23].

Комплекс включает насосные установки, системы напорного гидротранспортирования, установки для предварительного размыва пород и классификации на фракции +4 и -4 мм. Фракция +4 мм поступает на установку с автоматическим сполоском. При гравитационном обогащении на первичных стадиях концентрат быстрее и в большем количестве накапливается в головной части шлюзов, на оптимальной длине, составляющей 1,5 м. Автоматизация процесса сполоска позволяет исключить ручной труд, применяемый на практике, дополнительные затраты энергии для подачи воды, исключить снос накопившегося концентрата в головной части, обеспечив достаточно частый сполоск при экономии энергоресурсов [19–22]. Последующее разделение осуществляется посредством тонкослойного двухуровневого шлюза, отсадочной машины, центробежного концентратора и концентрационного стола. Фракция – 40 мм направляется на кавитационные реакторы [23] и винтовые сепараторы. Кавитационный реактор (рис. 5) включает скоростную подачу струи в диффузор 1 гидродинамического генератора, обработку гидросмеси в условиях активных гидродинамических воздействий посредством влияния размещенных внутри цилиндрического корпуса с конфузором 2 и последовательно установленных стационарных кавитационных элементов 3, в том числе пластинчатых кавитационных элементов 4.

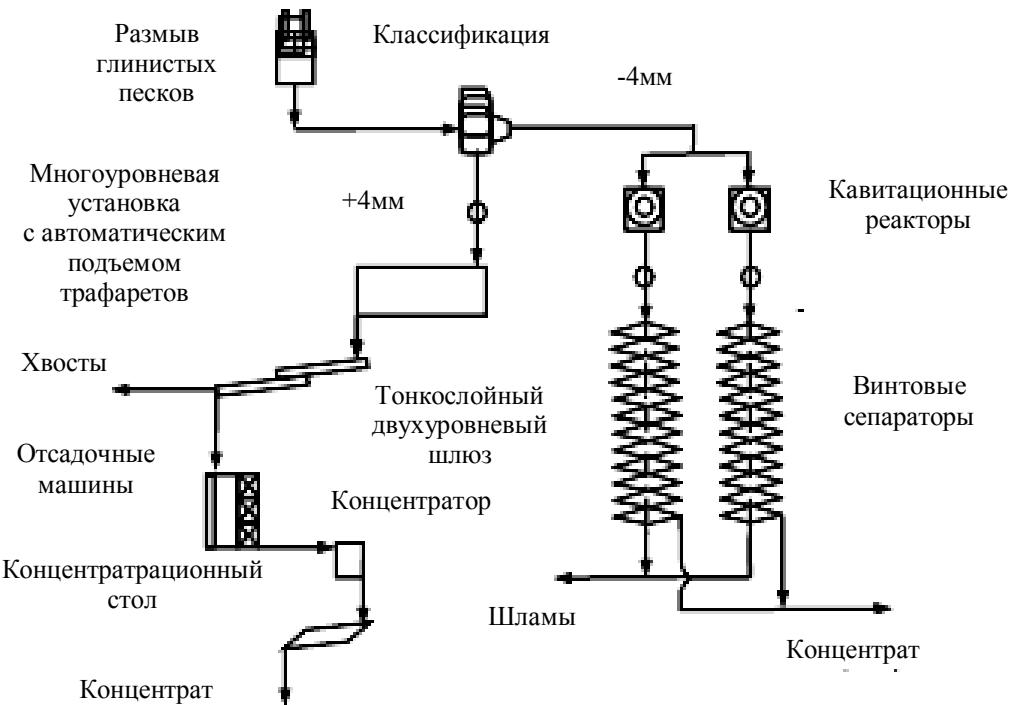


Рис. 4. Геотехнологический комплекс для переработки высокоглинистых песков россыпного месторождения
Fig. 4. Geotechnical complex for processing high-clay sands of the placer deposit

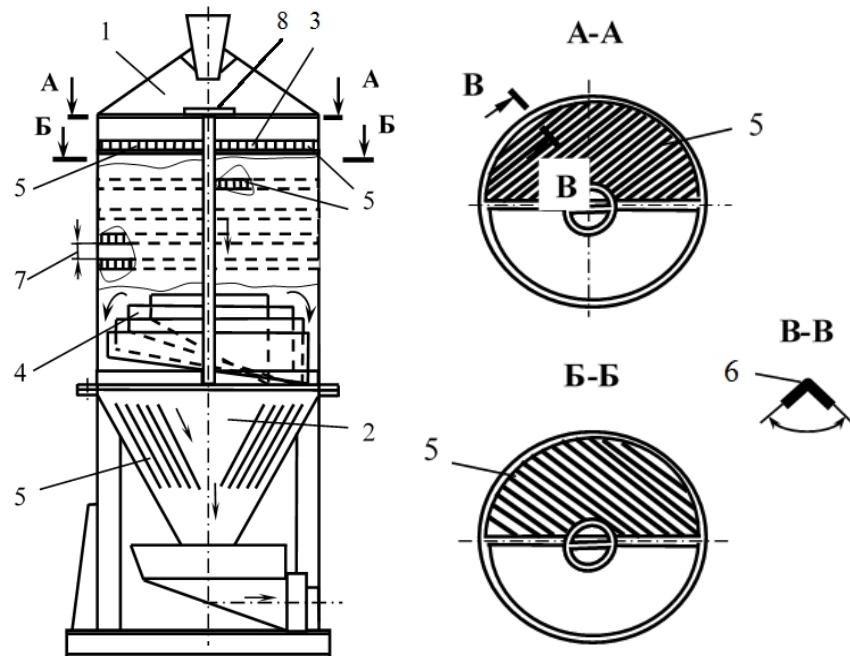


Рис. 5. Гидродинамический кавитационный реактор: 1 – диффузор; 2 – конфузор; 3 – стационарный кавитационный элемент; 4 – пластинчатый кавитационный элемент; 5 – балка-уголок; 6 – прямой угол; 7 – расстояние между балками-уголками по вертикали; 8 – отражательная поверхность

Fig. 5. Hydrodynamic cavitation reactor: 1 is a diffuser; 2 is a confuser; 3 is a stationary cavitation element; 4 is a plate-type cavitation element; 5 is a beam-angle; 6 is a right angle; 7 is a vertical distance between the beams-angles; 8 is a deflecting surface

Давление струи минеральной гидросмеси P на неподвижную отражательную поверхность 8 (см. рис. 5), расположенную по центру на входе, зависит от плотности гидросмеси ρ , расхода гидросмеси Q , скорости истечения струи V и расстояния l от входного патрубка до поверхности:

$$P = (\rho Q V) / l.$$

Часть струи веерообразно расходится, попадая на заостренные выступы кавитационных балок-уголков 5, и, частично отражаясь затем от стенок диффузора, вновь падает вниз. Осуществляется тонкоструйное разделение с обеспечением глубокой дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси до микроуровня посредством преобразования кинетической энергии потока жидкости в энергию акустических колебаний [23]. Для усиления полей первичной гидродинамической дезинтеграции на выходе из диффузора 1 создают турбулентность и раздвинутую разреженность посредством съемных кассет с решетками, перекрытия которых выполнены под углом в горизонтальной плоскости по отношению к горизонтальным осям цилиндрического корпуса, из балок-уголков 5, прямой угол 6 которых повернут вверх. Каждый из последующих слоев балок-уголков 5 установлен с противоположным наклоном по отношению к предыдущему слою, а расстояние между балками-уголками по горизонтали изменяется от предыдущего слоя к последующему слою по вертикали в соответствии с прогнозируемым уменьшением максимального размера элементов твердой составляющей гидросмеси и фазового соотношения твердой минеральной составляющей и жидкой Т:Ж, которое может составлять минимально 1:10 или максимально 4:10. Прогнозируемое расстояние между кромками балок-уголков по горизонтали на верхнем слое может варьировать от 20 до 60 мм, а на самом нижнем слое – не менее 20 мм.

Расстояние по вертикали между предыдущим слоем и последующим слоем балок-уголков зависит от физико-механических (прочностных, упругореологических и теплофизических) характеристик и структурно-механических (дисперсности – содержание, например, фракций менее 45 мкм 40 или 90%, фазового соотношения твердой и жидкой составляющей гидросмеси). Резонансное возбуждение, турбулентные вихри и кавитационный эффект, приводящий к акустической деструкции дисперсно-агрегатного состояния гидросмеси и разрушению механических связей твердого, будет достигаться посредством

гидродинамической составляющей и расстояния между кромками балок-уголков по горизонтали, т.е. площади щелеобразного отверстия. За счет изменения расстояния между внешними линиями прямых углов 1, 2 (рис. 6) и нижними кромками 3, 4 происходит изменение скоростного режима. Возрастание скорости потока гидросмеси на входе в узкую область приводит к снижению давления в гидросмеси при проходе между нижними кромками 3, 4 балок-уголков, образуется разреженная область, инициирующая кавитацию.

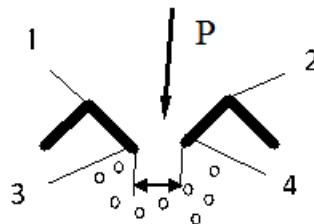


Рис. 6. Схема инициирования кавитации в реакторе
Fig. 6. Diagram of initiating cavitation in the reactor

Прогнозируемое расстояние по вертикали между слоями балок-уголков находится за пределами кавитационной области. Если кавитационная область составит по высоте 50 мм, то расстояние между балками-уголками должно быть не менее 200 мм.

Последующее тонкоструйное разделение с кавитацией осуществляется с помощью пластинчатых кавитационных элементов, установленных в нижней части цилиндрического корпуса гидродинамического генератора под съемными кассетами с решетками с изменением верхних горизонтальных линий поверхностей ступенчато с понижением к центральной оси цилиндрического корпуса, а нижних линий поверхностей – с обеспечением дополнительного турбулентного режима посредством одностороннего косого среза и свободного вхождения потока гидросмеси в конфузор. Использование добычного комплекса с кавитационными реакторами и автоматическими установками шлюзового типа повысит технологический уровень переработки полезного ископаемого посредством обеспечения глубокой дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси глинистых песков золотоносного месторождения. За счет использования гидродинамической кавитации в гидропотоке реакторов обеспечится разрушение связей мелких глинистых частиц, снижается потеря тонких фракций ценных компонентов, сокращаются энергозатраты и эксплуатационные показатели по обслуживанию комплекса, повысится

рентабельность производства и экологическая безопасность. Выполнение автоматизированных установок в виде многоуровневых шлюзов с расширением улавливающей площади на каждом уровне в 9–10 раз и использованием 3–4-х уровней позволит повысить производительность до 40 раз.

Заключение

На стадии предварительной оценки месторождения Антуанской площади южной части Хабаровского края и выработки подходов к одному их основных процессов переработки – дезинтеграции проведены исследования структурных характеристик горных пород. Установлен значительный объем частиц микронного размера, в том числе ценных компонентов, при этом распределение частицы минералов по размерам менее 45 мкм составляет большую часть. Во вмещающей породе установлено преобладание глинистого минерала монтмориллонита. Кроме золота и серебра спектрометрическим анализом установлено повышенное содержание марганца, ванадия, хрома, никеля, меди и других элементов. Основными процессами для достижения эффекта комплексной и глубокой переработки минерального сырья полиминеральных россыпей на микроуровне являются дезинтеграция в комбинации с диспергированием. Расширение применения технологии кавитационно-гидродинамической микродезинтеграции высокоглинистой полиминеральной составляющей гидросмеси посредством предлагаемых кавитационных реакторов и автоматизированных шлюзовых установок, в том числе многоуровневых, обеспечит сокращение потерь тонких частиц ценных компонентов, сократит потребление энергоресурсов, снизит эксплуатационные затраты и повысит экологическую безопасность.

Список литературы

1. Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Троценко И.Г. Технико-экономическое обоснование эффективности совместной переработки руд и россыпей золота // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. № 4. Т.18. С. 12–23. doi: 10.18503/1995-2732-2020-18-4-12-23.
2. Хрунина Н.П. Совершенствование процессов разработки высокоглинистых рудно-россыпных месторождений Дальневосточного региона // Горный журнал. 2018. № 10. С. 39–42. doi: 10.17580/gzh.2018.10.07. ISSN 0017-2278
3. Чантuria В.А., Бунин И.Ж. Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2007. № 3. С. 107–128.
4. Кочнев В.Г., Грушинская О.В. Дезинтеграция труднопромывистых песков с высокопластичной глиной // Золотодобыча. 2021. № 2 (267). URL: drive.google.com (дата обращения: 25.03.2021).
5. Златев М., Александр Коломиец А. HYDRO-CLEAN: извлекать больше золота из упорных руд возможно // Журнал «Глобус». 2021. № 1 (65). URL: www.vnedra.ru (дата обращения 24.03.2021).
6. Elshin V.V., Melnyk S.A. Current state and prospects of development of technology of desorption of gold from the saturated activated carbons // Austrian journal of technical and natural sciences. 2014. No. 9–10. P. 114–118.
7. Rukovich A.V., Rochev V.F. Disintegration of frozen clay rocks under the influence of chemical fields and the aquatic environment // Scientific journal Advances in current natural sciences. 2017. No. 5. P. 123–127. ISSN 1681–7494.
8. Кисляков В.Е., Никитин А.В. Подготовка глинистых песков россыпных месторождений к дезинтеграции управляемым водонасыщением // Горный журнал. 2010. № 2. С. 28–30.
9. Хрунина Н.П., Чебан А.Ю. Оценка влияния водонасыщения на дезинтеграцию высокоглинистых песков при разработке россыпей благородных металлов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 4 (52). С. 50–55.
10. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков. Ч. 2. Чита: ЧитГТУ, 1996. 119 с.
11. Мирзеханов Г.С., Литвинцев В.С. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе // Горный журнал. 2018. №10. С. 25–30.
12. Мирзеханов Г.С., Литвинцев В.С., Алексеев В.С. Перспективы масштабного освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №6. С. 22–30.
13. Литвинцев В.С. Основные направления стратегии освоения техногенных рудных и россыпных месторождений благородных металлов // Горный журнал. 2013. №10. С. 38–41.
14. Семенов А.Н., Серый Р.С. Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 88–96. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96.
15. Карепанов А.В., Семенов А.Н. Исследования разупрочнения глины с использованием гидродинамической кавитации // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. трудов. Красноярск: ГАЦМиЗ, 2005. С. 190–194.
16. Серый Р.С. Повышение эффективности разработки высокоглинистых россыпей // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 6. С. 51–53.

17. Ширман Г.В., Матвеев А.И. Исследование процесса промывки глинистых материалов в аппарате дезинтеграции и классификации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 10. С.189–192.
18. Шкаруба Н.А., Кисляков В.Е., Борисов Ф.И. Особенности обоснования параметров моделирования размыва горных пород напорной струей гидромонитора // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 4. С. 32–38.
19. Патент 1559503 РФ. Установка для обогащения песков россыпей / Ю.А. Мамаев, Н.П. Хрунина; заявитель и патентообладатель ИГД ДВО РАН. Опубл. 10.10.1988.
20. Патент 2198734 РФ. Автоматическая установка для обогащения полезных ископаемых с боковым сплюском / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, Е.К. Молоднякова; заявитель и патентообладатель ИГД ДВО РАН. Опубл. 20.02.2003. Бюл. № 5.
21. Патент 2200630 РФ. Автоматическая установка для обогащения руд и россыпей / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, А.И. Щербунов; заявитель и патентообладатель ИГД ДВО РАН. Опубл. 20.03.2003. Бюл. № 8.
22. Патент 2203143 РФ. Автоматическая установка для обогащения руд и россыпей с установками доводки концентратра / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, А.И. Щербунов; заявитель и патентообладатель ИГД ДВО РАН. Опубл. 27.04.2003. Бюл. № 12.
23. Патент 2652517 РФ. Способ активизации кавитационно-гидродинамической микродезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси / Н.П. Хрунина; заявитель и патентообладатель ИГД ДВО РАН. Опубл. 26.04.2018. Бюл. № 12.

References

- Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E., Trotsenko I.G. Feasibility study of the joint processing of gold ores and placers. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, no. 4, vol. 18, pp. 12–23. doi: 10.18503/1995-2732-2020-18-4-12-23.
- Khrunina N.P. Improving the development processes of high-clay ore placer deposits of the Far Eastern region. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2018, no. 10, pp. 39–42. doi: 10.17580/gzh.2018.10.07. ISSN 0017-2278
- Chanturiya V.A., Bunin I.Zh. Unconventional high-energy methods of disintegration and opening of fine-dispersed mineral complexes. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and Technical Problems of Mining], 2007, no. 3, pp. 107–128. (In Russ.)
- Kochnev V.G., Grushinskaya O.V. Disintegration of hard-to-wash sands with high plasticity clay. *Zoloto-dobycha* [Gold Mining]. 2021, no. 2 (267). Available at: drive.google.com (Accessed on March 25, 2021)
- Zlatev M., Kolomietts A. HYDRO-CLEAN: extracting more gold from refractory ores is possible. *Zhurnal Globus* [Globe Journal]. 2021, no. 1 (65). Available at: www.vnedra.ru (Accessed on March 24, 2021).
- Elshin V.V., Melnyk S.A. Current state and prospects of development of technology of desorption of gold from the saturated activated carbons. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2014, no. 9–10, pp. 114–118.
- Rukovich A.V., Rochev V.F. Disintegration of frozen clay rocks under the influence of chemical fields and the aquatic environment. *Advances in Current Natural Sciences*. 2017, no. 5, pp. 123–127. ISSN 1681–7494.
- Kislyakov V.E., Nikitin A.V. Preparation of clay sands from placer deposits for disintegration by controlled water saturation. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2010, no. 2, pp. 28–30. (In Russ.)
- Khrunina N.P., Cheban A.Yu. Assessment of the impact of water saturation on the disintegration of high-clay sands in the development of placers of precious metals. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 4 (52), pp. 50–55. (In Russ.)
- Myazin V.P. *Povyshenie effektivnosti pererabotki glinistykh zolotosoderzhashchikh peskov*. Ch. 2. [Improving the efficiency of processing clay gold sands. Part 2]. Chita: ChitaSTU, 1996, 119 p. (In Russ.)
- Mirzekhanov G.S., Litvintsev V.S. State and problems of development of man-made deposits of precious metals in the Far Eastern Region. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 10, pp. 25–30. (In Russ.)
- Mirzekhanov G.S., Litvintsev V.S., Alekseev V.S. Prospects for large-scale development of man-made placer deposits of precious metals. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use], 2019, no. 6, pp. 22–30. (In Russ.)
- Litvintsev V.S. Main directions of the strategy for the development of man-made ore and placer deposits of precious metals. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2013, no. 10, pp. 38–41. (In Russ.)
- Semenov A.N., Seryi R.S. Study of the processes of disintegration of hard-to-wash sands of placer deposits of gold. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. 2019, no. 8, pp. 88–96. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96.
- Karepanov A.V., Semenov A.N. Research on clay softening using hydrodynamic cavitation. *Sovremennoye tekhnologii osvoeniya mineralnykh resursov: sb. nauch. trudov* [Modern technologies for the development of mineral resources: proceedings]. Krasnoyarsk: GATsMiZ, 2005, pp. 190–194. (In Russ.)
- Seryi R.S. Improving the efficiency of developing high-clay placers. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use], 2009, no. 6, pp. 51–53. (In Russ.)
- Shirman G.V., Matveev A.I. Study of the process of washing clay materials using the disintegration and classification plant. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2014, no. 10, pp. 189–192. (In Russ.)

18. Shkaruba N.A., Kislyakov V.E., Borisov F.I. Features of rationale for the simulation parameters of the erosion of rocks by jets of pressure water of the hydraulic monitor. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Transbaikal State University], 2019, vol. 25, no. 4, pp. 32–38. (In Russ.)
19. Mamaev Yu.A., Khrunina N.P. *Ustanovka dlya obogashcheniya peskov rossypei* [A dressing plant for sands of placers]. Patent RF, no. 1559503, 1988.
20. Khrunina N.P., Mamaev Yu.A., Molodnyakova E.K. *Avtomcheskaya ustanovka dlya obogashcheniya poleznykh iskopаемых s bokovym spoloskom* [An automatic plant for mineral dressing with side washing]. Patent RF, no. 2198734, 2003.
21. Khrunina N.P., Mamaev Yu.A., Scherbunov A.I. *Avtomaticheskaya ustanovka dlya obogashcheniya rud i rossypei* [An automatic plant for dressing of ores and placers]. Patent RF, no. 2200630, 2003.
22. Khrunina N.P., Mamaev Yu.A., Shcherbunov A.I. *Avtomaticheskaya ustanovka dlya obogashcheniya rud i rossypei s ustanovkami dovodki kontsentrata* [An automatic plant for dressing of ores and placers with concentrate recovery plants]. Patent RF, no. 2203143, 2003.
23. Khrunina N.P. *Sposob aktivizatsii kavitatsionno-gidrodinamicheskoy mikrodeintegratsii mineralnoy sostavlyayushchei gidrosmesi* [Method of activating the cavitation-hydrodynamic micro-disintegration of a mineral component of hydraulic fluid]. Patent RF, no. 2652517, 2018.

Поступила 01.04.2021; принята к публикации 15.04.2021; опубликована 28.06.2021
Submitted 01/04/2021; revised 15/04/2021; published 28/06/2021

Хрунина Наталья Петровна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Хабаровск, Россия.
Email: npetx@mail.ru. ORCID 0000-0001-8117-0922

Natalia P. Khrunina – PhD (Eng.), Lead Researcher,
Institute of Mining, the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia.
Email: npetx@mail.ru. ORCID 0000-0001-8117-0922