УДК 622.342.1 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96

Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота

Семенов А. Н.[1, 2]*, Серый Р. С.[2]
[1] Компания «Золото «Керби», г. Хабаровск, Россия
[2] Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия
e-mail: ans-01@yandex.ru

Реферат

Введение. *Перспективным направлением пополнения сырьевой базы россыпной золотодобычи может стать вовлечение в эксплуатацию месторождений с высоким содержанием глины. Важной научно-практической задачей при этом является решение проблемы повышения качества подготовки песков к обогащению за счет качественной дезинтеграции. Решение проблемы требует не только создания более эффективных аппаратов для дезинтеграции глинистых песков, но и изучения гранулометрии песков, оценки их физико-механических свойств, вещественного состава минеральной горной массы. Состав труднопромывистых песков Дальнего Востока показывает, что содержание глины в них изменяется в широких пределах и может достигать 60 % и более. Анализ существующих способов дезинтеграции песков месторождений показывает, что использование традиционных способов подготовки породы к обогащению не позволит в полном объеме решить проблему переработки высокоглинистых россыпей.*

Цель работы. *Разработка схемы переработки высокоглинистых песков с применением высоконапорного гидродинамического дезинтегратора, в работе которого использован эффект гидродинамической кавитации.*

Методика исследований. *Выполнены эксперименты по переработке высокоглинистых песков на лабораторной дезинтегрирующей установке с различными активаторами кавитации.*

Результаты. *В ходе проведения исследования разработана и предложена к практической реализации конструкция установки для дезинтеграции высокоглинистых песков, позволяющая сократить потери золота при обогащении высокоглинистых песков на шлюзовых промывочных приборах, а также вовлекать в отработку россыпные месторождения с высоким содержанием глины, отработка которых ранее считалась нерентабельной. Использование данной технологической схемы позволит перейти от двухстадийной технологии переработки россыпей к одностадийной, включив в единый технологический процесс переработку песков и эфелей, исключив затраты на переработку техногенных песков россыпных месторождений золота.*

Ключевые слова: *россыпное месторождение золота; высокоглинистые пески; дезинтеграция; кавитация; гидродинамический дезинтегратор.*

Введение. Наиболее значительная часть россыпных месторождений золота, отрабатываемых в настоящее время в Хабаровском крае, представлена глубокозалегающими и древними погребенными россыпями. Особенностью данного вида месторождений является высокое содержание глины в добываемых песках, что относит их к категории труднопромывистых. Однако вовлечение в эксплуатацию месторождений с высоким содержанием глины является перспективным направлением пополнения сырьевой базы россыпной золотодобычи [1–2].

Решение проблемы повышения качества подготовки песков к обогащению за счет качественной дезинтеграции остается важной научно-практической задачей в россыпной золотодобыче. Требуется не только создание более эффективных аппаратов для дезинтеграции глинистых песков, но и объективный учет гранулометрии песков, оценка их физико-механических свойств и вещественного состава.

Анализ вещественного состава труднопромывистых песков месторождений показывает, что содержание глины в них может колебаться от 10 до 60 %, в отдельных случаях и более. Важной характеристикой для выбора способа и технологии дезинтеграции песков является их влажность, существенно влияющая на энергоемкость процесса. Выполненные исследования показывают, что изменение влажности с 17 до 19 % при содержании глины в образцах 60 % повышает эффективность дезинтеграции глинистых пород с 30 до 60 % [1–9]. Вопрос комплексной технологической оценки высокоглинистых песков и выбор эффективной поточной технологии их переработки является актуальной научной задачей.

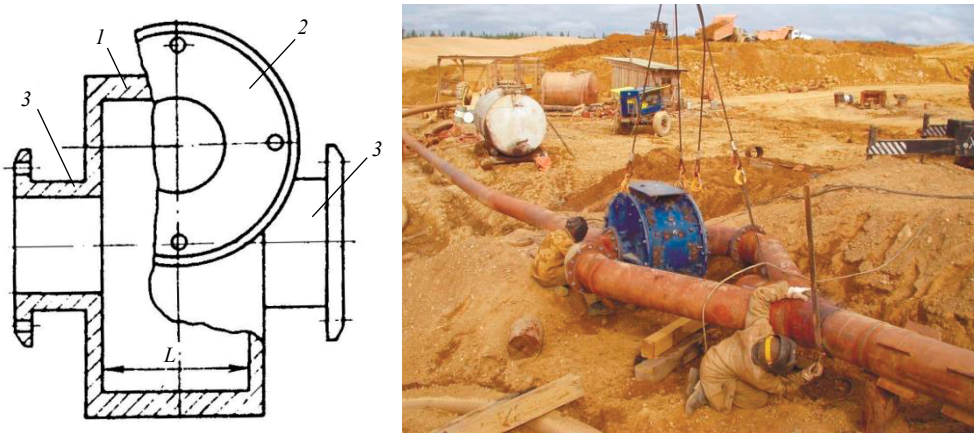

Рис. 1. Конструкция центробежного дезинтегратора и общий вид установки:
1 – цилиндрическая камера; *2* – питающий патрубок; *3* – разгрузочные патрубки
Fig. 1. The design of the centrifugal disintegrator and the general view of the installation:
1 – a cylindrical chamber; *2* – feed pipe; *3* – discharge pipes

Актуальность работы. При извлечении золота из россыпей выделяют эксплуатационные и технологические потери, которые зависят от качества промывки и наличия глинистых фракций в песках. Некачественно продезинтегрированный материал является причиной потерь золота, так как оно теряется с окатышами глины и попадает в эфельные и галечные отвалы.

Например, при дражном способе разработки общие потери полезного ископаемого, обусловленные оставлением межшаговых и межходовых целиков, недозачисткой плотика россыпи и недостаточно высокой эффективностью дезинтеграции песков в дражной бочке достигают 40 % [2].

Наряду с подводным (дражным) способом на Дальнем Востоке широко применяется открытый раздельный способ разработки россыпных месторождений золота, при котором добываемые пески подаются бульдозером на гидровашгерд, где подвергаются размыву, затем гидроэлеватором или землесосом направляются в виде пульпы на промприборы типа ПГШ (приборы гидроэлеваторные шлюзовые) со шлюзами глубокого и мелкого наполнения.

Данный тип промывочных приборов зарекомендовал себя простым в эксплуатации, надежным и производительным, но он имеет ряд существенных недостатков:

– низкая эффективность дезинтеграции высокоглинистых песков;

– увеличение потерь золота в процессе эксплуатации между съемками концентрата вследствие снижения улавливающей способности шлюзов с течением времени из-за накопления в них концентрата и вмещающих пород;

– конструкция плоских грохотов не обеспечивает эффективное грохочение и поступление всего подрешетного материала на шлюзы мелкого наполнения.

В результате потери золота при обогащении высокоглинистых россыпей промприборами типа ПГШ могут достигать более 50 % [1, 2].

Анализ существующих способов дезинтеграции песков данных месторождений показывает, что использование традиционных способов подготовки породы к обогащению не позволит в полном объеме решить проблему переработки высокоглинистых россыпей. При использовании дезинтеграторов центробежного типа, в которых происходит закручивание твердых частиц породы за счет тангенциального подвода пульпы, разрушение породы возникает из-за разности давления и скорости потока [7–9].

Данный вид аппаратов используется совместно с гидровашгердом и землесосом, создающим необходимый напор для транспортировки гидросмеси. Конструкция центробежного дезинтегратора представлена на рис. 1.

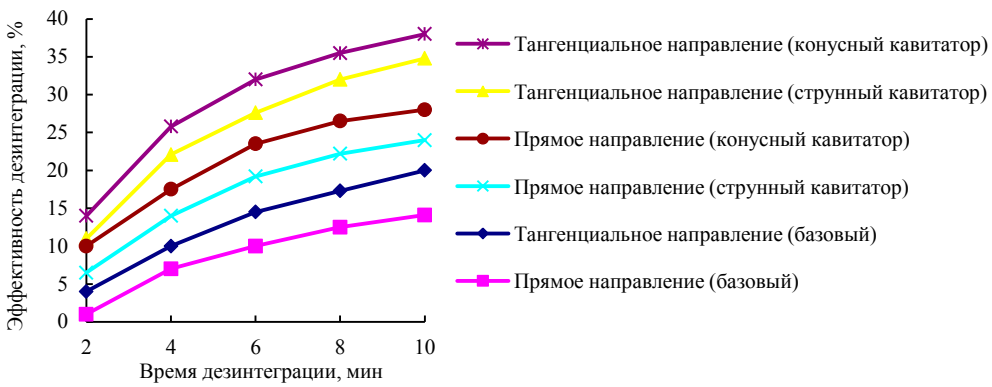

Рис. 2. Влияние эффекта кавитации на эффективность дезинтеграции глины
Fig. 2. The effect of cavitation on the effectiveness of clay disintegration

Использование центробежных дезинтеграторов позволяет уменьшить размер глинистых окатышей примерно вдвое, эффективность дезинтеграции составляет в среднем около 60–70 %, снижается содержание золота в эфельных хвостах, но необходимость повторной промывки остается. Для достижения полной дезинтеграции необходимо включать в технологическую цепь последовательно несколько центробежных дезинтеграторов совместно с энергоемкими землесосами.

Основным недостатком центробежных дезинтеграторов является износ корпуса и высокая энергоемкость процесса.

Традиционные способы и оборудование для переработки песков не способны обеспечить достаточно эффективную степень извлечения золота из высокоглинистых россыпей. Необходимо создание современных гидромеханизированных технологий для эффективного освоения россыпных месторождений, представленных труднопромывистыми породами.

Целью исследования является разработка схемы переработки высокоглинистых песков с использованием высоконапорного гидродинамического дезинтегратора.

Высоконапорный гидродинамический дезинтегратор. Лабораторная установка состоит из бака, расходомера, трубопроводов, подведенных тангенциально и нормально направленных, сменных кавитаторов (струнный, конусный), надеваемых на тангенциальный участок трубы, сливного трубопровода, манометра, крана, насоса.

Методика проведения экспериментов заключается в следующем: в заполненную водой установку погружается образец глины, затем в подведенный трубопровод вкручивается сменный кавитатор (конусный, струнный), проходящая че-

рез него жидкость на выходе образует зону критического давления, приобретая способность к неограниченному росту пузырьков и их схлопыванию. Тем самым образовывается кавитациверна, которая воздействует на исходный материал, в результате чего происходит его расслаивание и разрушение [10].

Из приведенных данных видно, что эффективность дезинтеграции глины зависит от времени воздействия, направления потока воды, подаваемой в бак, и типа кавитатора. Максимальная эффективность – 38 % – получена с использованием конусного кавитатора (рис. 2).

Таблица 1. Эффективность дезинтеграции без активатора кавитации
Table 1. Disintegration efficiency without cavitation activator

Продолжительность дезинтеграции, мин	Скорость потока, м/с				
	4,0	3,5	2,9	2,5	2,0
2	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8
4	4,4	3,8	3,4	3,0	2,3
6	6,7	6,1	4,8	4,5	3,2
8	8,5	7,8	6,6	5,7	4,2
10	10,8	9,4	7,7	6,6	5,1

Результаты лабораторных исследований представлены в табл. 1–3.

Жидкость, проходящая через кавитатор, попадает в зону критического давления, приобретает способность к образованию и неограниченному росту в ней пузырьков. После перехода в зону пониженного давления рост прекращается, и пузырьки начинают уменьшаться. Если пузырьки содержат достаточно много газа, то при достижении минимального радиуса они восстанавливаются и совершают несколько циклов затухающих колебаний, а если мало, то пузырек схлопывается

Таблица 2. Эффективность дезинтеграции с применением струнного активатора кавитации
Table 2. The effectiveness of disintegration with application of string cavitation activator

Продолжительность дезинтеграции, мин	Скорость потока, м/с				
	6,3	7,0	7,5	8,0	8,5
2	6,6	7,4	7,93	8,46	9,0
4	13,1	14,9	15,86	17,00	18,5
6	20,4	21,7	23,30	25,37	25,9
8	26,3	30,1	31,50	33,90	35,8
10	33,3	36,8	39,50	42,00	45,2

еще в первом цикле. Таким образом, вблизи обтекаемого тела создается кавитационная зона, заполненная движущимися пузырьками [4]. Сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом, тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырек.

В процессе непрерывного образования и схлопывания пузырьков вблизи поверхности глины происходит ее дезинтеграция. Эффективность дезинтеграции при этом зависит от типа кавитационной насадки и времени воздействия на глину.

Высоконапорный гидродинамический дезинтегратор (рис. 3) является прибором для подготовки глинистых песков перед подачей их на обогащение, который основан на принципе эффекта гидродинамической кавитации.

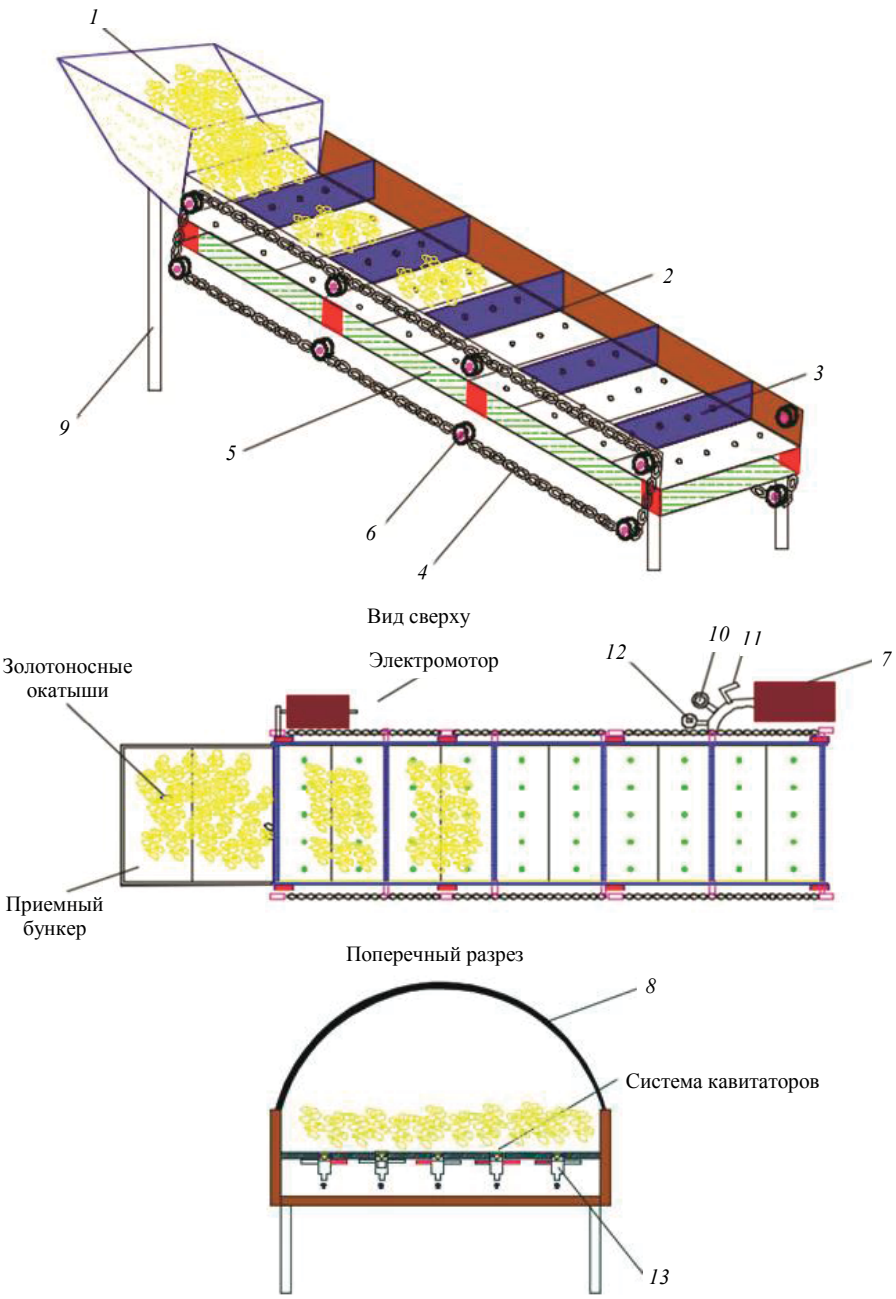

Рис. 3. Высоконапорный гидродинамический дезинтегратор:
1 – приемный бункер; *2* – металлический корпус с бортами; *3* – лопасти (дозаторы); *4* – цепной механизм вращения лопастей; *5* – нижняя поверхность установки; *6* – натяжные ролики; *7* – насос подачи воды; *8* – крышка сферическая; *9* – ножки установки (с регулировкой по высоте); *10* – манометр; *11* – кран регулировки потока; *12* – счетчик воды; *13* – система трубопроводов с кавитаторами

Fig. 3. High-pressure hydrodynamic disintegrator:
1 – receiving hopper; *2* – metal case with sides; *3* – blades (dispensers); *4* – chain mechanism of rotation of the blades; *5* – lower surface of the installation; *6* – tension rollers; *7* – water supply pump; *8* – spherical cover; *9* – installation legs (with height adjustment); *10* – pressure gauge; *11* – flow control valve; *12* – water meter; *13* – piping system with cavitators

Принцип работы установки заключается в следующем. Золотоносный материал попадает в приемный бункер *1*, где лопастями *3* он подается на металлическую поверхность корпуса *2*. Снизу под всей поверхностью вмонтирована система трубопроводов со сменными кавитаторами *13*. При подаче воды под давлением в систему трубопроводов и прохождении потока через кавитаторы создается зона кавитации.

Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек схлопывается, излучая ударную волну. При этом жидкость вскипает и образует пузырьки микроскопических размеров. Образуется кумулятивный эффект, который приводит к точечному повышению давления до десятков тысяч атмосфер.

Таблица 3. Эффективность дезинтеграции с применением конусного активатора кавитации
Table 3. The effectiveness of disintegration using conical cavitation activator

Продолжительность дезинтеграции, мин	Скорость потока, м/с				
	6,9	7,5	8,0	8,5	9,0
2	8,3	9,0	9,6	10,2	10,5
4	16,8	17,9	19,3	21,0	23,5
6	25,1	28,0	30,0	31,2	31,4
8	32,2	36,6	37,5	40,2	43,0
10	42,0	45,5	49,0	52,0	55,4

Кроме того, резкое исчезновение кавитационных пузырьков приводит к образованию гидравлических ударов и, как следствие, созданию волны сжатия и растяжения в жидкости с ультразвуковой частотой. Если ударная волна встречает на своем пути препятствие, то она разрушает его поверхность. Кавитационных пузырьков довольно много, и схлопывание происходит много тысяч раз в секунду и приводит к значительным разрушениям.

Если степень развития кавитации такова, что возникает и схлопывается множество пузырьков, то явление сопровождается сильным шумом со сплошным спектром от нескольких единиц до нескольких сотен герц. По мере увеличения максимального радиуса пузырьков спектр расширяется в область низких частот [11–13].

Кавитация возникает при достижении потоком граничной скорости $v = v_c$, когда давление в потоке становится равным давлению парообразования (насыщение паров).

Увеличение скорости потока после начала кавитации влечет за собой быстрое возрастание пузырьков, после этого происходит их объединение в общую кавитациверну и течение переходит в струйное.

Глиняные окатыши, перемещаясь с помощью лопастей, попадают в зону возникновения гидродинамической кавитации и начинают отслаиваться. Поверхность окатыша разрушается, при этом создается так называемая кавитационная эрозия.

Так как кавитаторы вмонтированы в дно установки и струи воды будут поднимать окатыши вверх, то сверху предусмотрена полусферическая крышка, которая задерживает вынос напором дезинтегрируемого материала из установки. Под силой тяжести дезинтегрируемый материал проходит сквозь отверстия поверхности и осаждается на нижнюю поверхность установки, после чего смывается в сторону обогатительной установки.

На основе изложенных факторов предлагается схема переработки высокоглинистых песков с использованием высоконапорного гидродинамического дезинтегратора и промприбора ГИТ-52 (со шлюзами мелкого наполнения), представленная на рис. 4.

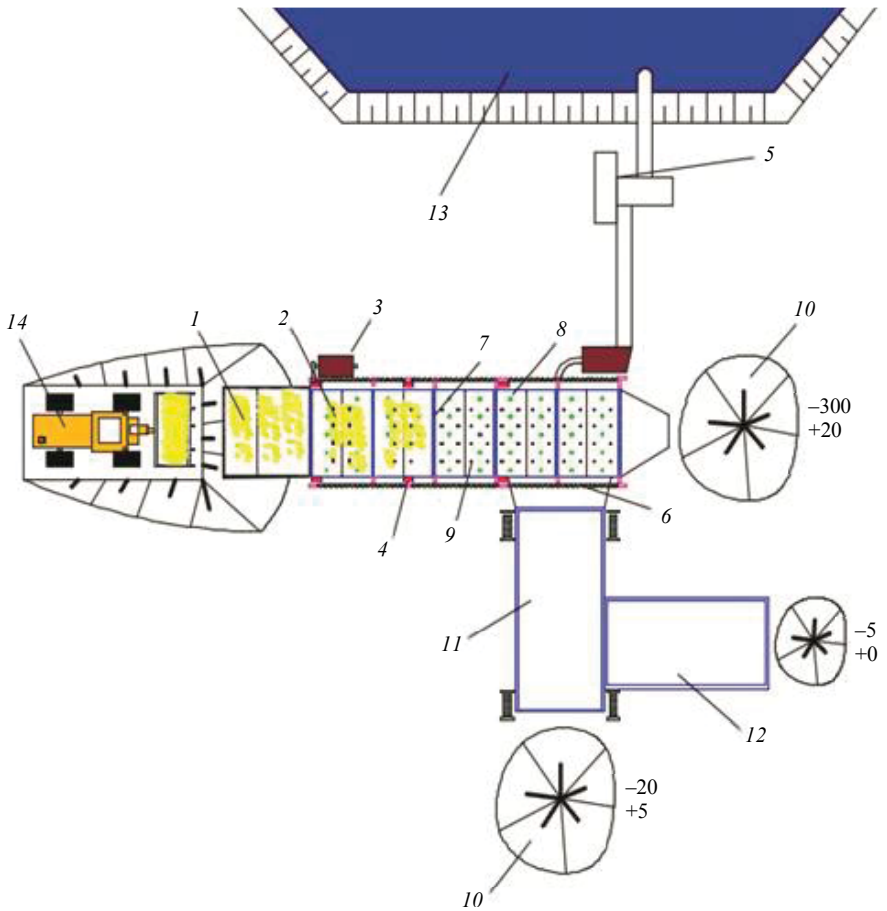

Рис. 4. Схема переработки высокоглинистых песков с использованием высоконапорного гидродинамического дезинтегратора и промприбора ГИТ-52:
1 – приемный бункер; *2* – перерабатываемые пески; *3* – электромотор; *4* – ролики цепи; *5* – насос; *6* – цепи; *7* – лопасти; *8* – кавитаторы; *9* – перфорация; *10* – гале-эфельные отвалы; *11* – ГИТ-52; *12* – шлюзы мелкого наполнения; *13* – отстойник; *14* – погрузчик

Fig. 4. The scheme of processing high clay sands using a high-pressure hydrodynamic disintegrator and industrial instrument GIT-52:
1 – receiving hopper; *2* – recyclable sands; *3* – electric motor; *4* – chain rollers; *5* – pump; *6* – chains; *7* – blades; *8* – cavitators; *9* – perforation; *10* – gale-epile dumps; *11* – GIT-52; *12* – fine filling gateways; *13* – sump; *14* – loader

Высокоглинистые пески фронтальным погрузчиком *14* подаются в приемный бункер *1*, после чего они поступают на перфорированную поверхность *9*, где образуется зона кавитации и происходит разупрочнение глинистых конгломератов. Подготовленные пески проваливаются на сплошную цельную поверхность дезинтегратора и смываются в приемный бункер промывочного прибора *11*, где происходит грохочение и обогащение на шлюзах мелкого наполнения *12*.

Выводы. Предложена конструкция установки для дезинтеграции высокоглинистых песков, позволяющая максимально эффективно использовать энергию подаваемой воды через кавитаторы, воздействуя на глинистые окатыши. Пред-

лагаемая конструкция позволит значительно сократить потери золота при обогащении высокоглинистых песков на шлюзовых промывочных приборах, а также вовлекать в отработку россыпные месторождения с высоким содержанием глины, отработка которых ранее считалась нерентабельной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04

2. Мирзеханов Г. С., Мирзеханова З. Г. Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. М.: МАКС Пресс, 2013. 288 с.

3. Litvintsev V. S., Sas P. P. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004

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

5. MacFarlane K. E., Nordling M. G. Yukon Exploration and Geology Overview 2013. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 80 p.

6. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T. W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines // Canadian Mineralogist. 2017. Vol. 55(3). P. 45–62.

7. Серый Р. С., Нечаев В. В. О необходимости комплексного подхода к решению вопроса дезинтеграции труднопромывистых песков россыпей // ГИАБ. 2009. Отд. вып. 4. Дальний Восток-1. С. 268–274.

8. Хныкин В. Ф Перспективы разработки труднопромывистых высокоглинистых россыпных месторождений золота // Горный журнал. 1995. № 11. С. 26–31.

9. Белобородов В. И., Федотов К. В., Романенко А. А. Обогащение золотосодержащих песков с высоким содержанием глинистых // Горный журнал. 1995. № 5. С. 12–18.

10. Кисляков В. Е., Карепанов А. В., Семенов А. Н. Результаты исследований подготовки глинистых песков к гравитационному обогащению // Гравитационные методы обогащения. Современное обогатительное оборудование и новые технологии для переработки минерального сырья. Материалы 2-й науч.-техн. конф., посвященной 100-летию завода «Труд». Новосибирск: Сибпринт, 2005. С. 87–89.

11. Левковский Ю. Л. Структура кавитационных течений. Л.: Судостроение, 1978. 222 с.

12. Кисляков В. Е., Карепанов А. В., Семенов А. Н. Исследования эффективности промывки глинистых песков // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. трудов. Красноярск: ГАЦМиЗ, 2004. С. 354–362.

13. 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.

Поступила в редакцию 7 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Семенов Александр Николаевич – аспирант Института горного дела ДВО РАН, технический директор Компании «Золото «Керби». E-mail: ans-01@yandex.ru
Серый Руслан Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: ruslan_ssr@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96

Hard-to-wash sand disintegration investigation in gold placers

Aleksandr N. Semenov[1, 2], Ruslan S. Seryi[2]
[1] "ZolotoKerby" Ltd, Khabarovsk, Russia.
[2] Institute of Mining FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. *A promising area of replenishing the resource base for placer gold mining could be the involvement of high clay content deposits. Important scientific and practical problem with this solution is improving the quality of sand preparation for enrichment due to high-quality disintegration. Solving the problem requires not only creating more efficient clay sands disintegrators, but also study of sand granulometry, evaluation of their physical and mechanical properties, the material composition of the mineral rock mass. The composition of the hard-to-wash sands of the Far East shows that the clay content in them varies widely and can reach 60% or more. Analysis of the existing methods of sands deposits disintegration shows that the use of traditional methods of rock preparation for enrichment will not allow to fully solving the problem of processing high-clay alluvial deposits.*

Research aim *is the development of a scheme for processing high-clay sands using a high-pressure hydrodynamic disintegrator based on the principle of the effect of hydrodynamic cavitation.*
Research methodology. *The experiments have been carried out on high-clay sand processing with a laboratory disintegration facility with various cavity activators.*
Results. *In the course of the study, the design of the device for the disintegration of high-clay sands was developed and proposed for practical implementation, allowing to reduce the loss of gold in the enrichment of high-clay sands on sluice washers, as well as to engage in mining alluvial deposits with high clay content, mining of which was previously considered unprofitable. The use of this technological scheme will make it possible to switch from a two-stage technology for the processing of placers to a one-stage, incorporating the processing of sands and effel into a single technological process, eliminating the costs of processing man-made alluvial sands of gold deposits.*

Key words: *placer gold deposit; high clay content sands; disintegration; cavitation; hydrodynamic disintegrator.*

REFERENCES

1. Mirzekhanov G. S., Litvintsev V. S. Mining waste management at precious metal placers in the Russian Far East: State-of-the-art and problems. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 10: 25–30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04. (In Russ.)
2. Mirzekhanov G. S., Mirzekhanova Z. G. *Resource potential of technogenic formations of gold placers*. Moscow: MAKS Press Publishing; 2013. (In Russ.)
3. Litvintsev V. S., Sas P. P. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District. In: *E3S Web of Conferences*. 2018; 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004
4. Litvitsev V. S., Alexeev V. S., Kradenykh I. A. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits. In: *E3S Web of Conferences*. 2018; 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005
5. MacFarlane K. E., Nordling M. G. *Yukon Exploration and Geology Overview 2013*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 80 p.
6. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T. W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines. *Canadian Mineralogist*. 2017; 55(3): 45–62.
7. Seryi R. S., Nechaev V. V. On the necessity of an integrated approach to the problem of disintegration of hard-to-wash sands of placers. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; special edition 4. Far East-1. pp. 268–274. (In Russ.)
8. Khnykin V. F. Prospects of hard-to-wash high-clay gold placers. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 1995; 11: 26–31. (In Russ.)
9. Beloborodov V. I., Fedotov K. V., Romanenko A. A. Concentrating gold-bearing sand with a high content of clay. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 1995; 5: 12–18. (In Russ.)
10. Kisliakov V. E., Karepanov A. V., Semenov A. N. Results of research of clay-bearing sand preparation to gravitational concentration. In: *Gravitational methods of concentration. Modern concentration equipment and new technologies to process mineral raw material. Proceedings of the 2nd science and technical conference dedicated to the 100th anniversary of Trud plant*. Novosibirsk: Sibprint Publishing; 2005. p. 87–89. (In Russ.)
11. Levkovskii Iu. L. *The structure of cavitation flows*. Leningrad: Sudostroenie Publishing; 1978. (In Russ.)
12. Kisliakov V. E., Karepanov A. V., Semenov A. N. Study of clay-bearing sand washing efficiency. In: *Modern technologies of mineral resources development: collection of works*. Krasnoyarsk: GATsMiZ Publishing; 2004. p. 354–362. (In Russ.)
13. Karepanov A. V., Semenov A. N. Study of clay softening with the use of hydrodynamical cavitation. In: *Modern technologies of mineral resources development: collection of works*. Krasnoyarsk: GATsMiZ Publishing; 2005. p. 190–194. (In Russ.)

Received 7 May 2019

Information about authors:

Aleksandr N. Semenov – PhD student, Institute of Mining FEB RAS, engineering manager of "ZolotoKerby" Ltd. E-mail: ans-01@yandex.ru
Ruslan S. Seryi – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: ruslan_ssr@mail.ru

Для цитирования: 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
For citation: Semenov A. N., Seryi R. S. Hard-to-wash sand disintegration investigation in gold placers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 88–96 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96