

УДК 622.271.1; 622.236.73

Ю.А. Мамаев, Н.П. Хрунина

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
СИСТЕМ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ГЛИНИСТЫХ
ПЕСКОВ И ИХ ГИДРОСМЕСЕЙ
НА ОСНОВЕ МЕХАНИЧЕСКОГО
И ЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Для освоения глинистых россыпей благородных металлов впервые разработаны и предложены для использования на практике научно обоснованные технологические решения, определяющие прогрессивное развитие средств воздействия на залежь и гидросмесь физическими полями звуковой частоты.

Ключевые слова: дезинтеграция, интенсивность излучения, мощность, частота, пески, гидросмесь.

Для решения проблемы дезинтеграции глинистых песков россыпей с повышенным содержанием мелкого и весьма мелкого золота в ИГД ДВО РАН проведены исследования физико-механических свойств песков россыпей Приамурья. Установлены взаимосвязи неводонасыщенного и водонасыщенного состояний песков с ультразвуковым воздействием и зависимости амплитудных значений смещения частиц песков в звуковой волне от параметров ультразвукового излучения и свойств песков россыпей с разным типом пластичности. Выявлены зависимости интенсивности излучения и амплитудных значений колебательной скорости частиц в зоне влияния ультразвука от волнового сопротивления песков при заданной величине деформации и физико-механических и структурных характеристиках песков исследуемых россыпей Приамурья. Установлены при частоте 25 кГц параметры интенсивности излучения звука, формирующие поля напряжений в песках при относительной их деформации $|S|=10^{-4}$ с превышением предела прочности песков в неводонасыщенном состоянии в зависимо-

сти от дисперсности, пластичности и волнового сопротивления — от 0,796 до 3,31 Вт/см² и водонасыщенном состоянии с учетом усредненной равновесной плотности, сжимаемости среды и в зависимости от пластичности, пористости и объемного содержания воды — от 0,372 до 2,786 Вт/см². Экспериментальным путем на основе изучения структурных особенностей, состояния, свойств песков и численными расчетами установлено превышение предела прочности песков на растяжение и сдвиг в неводонасыщенном (на растяжение от 7 до 20 раз и сдвиг — от 1,06 до 2,9 раз) и водонасыщенном (на растяжение от 3 до 14 раз и сдвиг — от 2 до 9 раз) состояниях в зависимости от пластичности, пористости, объемного содержания воды и с учетом усредненной равновесной плотности и сжимаемости среды. Обоснована концепция ультразвукового инициирования с установлением режимов воздействия на водонасыщенные пески в зависимости от пластичности, пористости, объемного содержания воды и с учетом усредненной равновесной плотности и сжимаемости среды; доказано, что по сравнению с неводонасы-

ценными песками в водонасыщенных песках при среднем содержании воды от 1,5 до 4 % эффективность процесса возрастает до 1,5 раз, а в песках со средним содержанием воды от 15 до 30 % — от 2 до 6 раз. Установлено, что степень дезинтегрирования твердой составляющей гидросмеси, в соответствии с разработанной математической моделью, экспоненциально зависит от интенсивности излучения, удельной поверхностной энергии дисперсной системы, волнового сопротивления гидросмеси и ряда других характеристик, а также длительности процесса дезинтеграции и конструктивных особенностей ультразвуковой системы. Обоснована концепция совместного механического и ультразвукового влияния на гидросмесь [1—6].

На основе проведенных исследований создан ряд модификаций геотехнологических комплексов [7—17], позволяющих осуществлять направленное преобразование как высокопластичных, так и слабопластичных золотосодержащих глинистых песков, рис. 1.

При условии повышенного содержания в песках мелкого золо-

та (от 50 до 100 %) и глинистых частиц (размером менее 0,005 мм свыше 30 %) дезинтеграция может осуществляться в процессе горно-подготовительной работы после операций вскрыши и заполнения водой разрабатываемого участка посредством двух установок 5 и 9, рис. 1. Ультразвуковая установка 9 имеет следующие технологические параметры, полученные в результате проведенных исследований, табл. 1. Система горно-подготовительных работ, включающая механическое и ультразвуковое воздействия на высокопластичные пески и гидросмеси позволяет провести работы с производительностью по твердому $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ и объемом промывки песков 288 тыс. м^3 . При этом понадобится только две установки для извлечения ценных компонентов с потребляемой мощностью каждая не более 11 кВт. Это могут быть концентраторы или новые модификации концентрационных столов, вибрации поверхностей в которых отсутствуют, а колебания создаются прямым звуковым воздействием на поток гидросмеси [17].

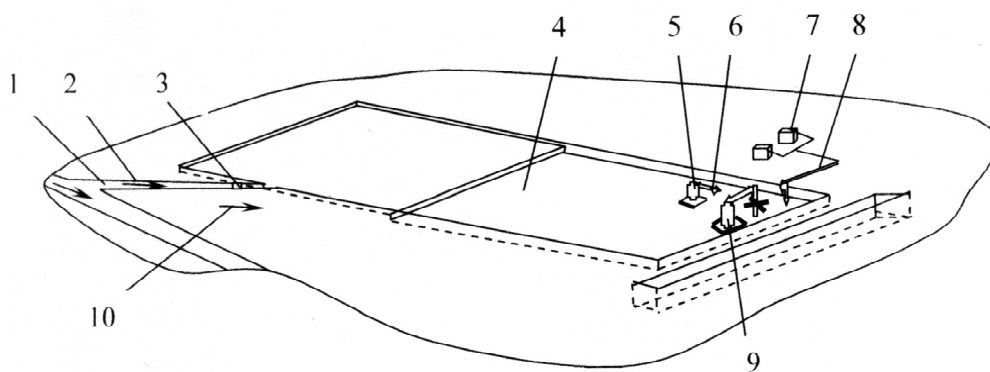


Рис. 1. Технологическая схема разработки глинистых песков россыпей:

1 — водозаводная траншея; 2 — уклон; 3 — регулируемый затвор; 4 — разрабатываемый участок россыпи, заполняемый водой; 5 — механическая установка; 6 — вращающаяся головка; 7 — концентраторы; 8 — установка напорного гидротранспортирования; 9 — ультразвуковая установка; 10 — направление падения пласта месторождения

Таблица 1

Рекомендуемые технологические параметры ультразвуковых систем для воздействия на высокопластичные глинистые пески и их гидросмеси, частота звука 25 кГц, относительная деформация $|S| = 10^{-4}$

Характерные особенности песков, гидросмесей и контролируемые параметры	Среднее содержание воды в песках, %	Амплитуда смещения частиц в звуковой волне в начальном периоде $ u \cdot 10^{-6}$, м	Начальные интенсивности звука I_0 , необходимые для дезинтеграции песков или твердой составляющей гидросмеси (максимальные), Вт/см ²	Нормальная составляющая напряжения в начальный момент для песков, кгс/см ²	Касательная составляющая напряжения сдвига в начальный момент, кгс/см ²	Среднее значение давления для ультразвука для гидросмеси $P \cdot 10^5$, Па
Неводонасыщенные пески. Контроль затухания излучения.	0	1,592	3,253—3,31 (12*)	36,15—36,75	7,2—7,3	—
	1,5	1,807—1,81	2,728—2,786 (12*)	25,65—26,15	6,53	—
	3	1,718—1,72	2,325—2,368 (12*)	22,98—23,39	5,85	—
	4	1,667—1,66	2,111—2,145 (12*)	21,51—21,86	5,47	—
	15	1,326—1,322	0,992—0,997 (12*)	12,7—12,81	3,2	—
	25	1,186—1,178	0,665—0,666 (12*)	9,52—9,53	2,34	—
	30	1,116—1,111	0,534—0,535 (12*)	8,13—8,12	2,04	—
Гидросмеси. Расстояние от поверхности излучения до твердой составляющей гидросмеси от 0 до 10 см.	70	1,04	2,47—2,6 (12**)	-	-	3,46
	40	1,02	2,48—2,7 (12**)	-	-	3,53

* — предельное значение интенсивности для рекомендуемой модели рабочего процесса, контролируется соотношение глубины металлического пласта и расстояния затухания интенсивности излучения в два раза, при необходимости интенсивность излучения увеличивается на нужную величину; ** — при увеличении расстояния свыше 10 см.

Один из вариантов моделирования рабочего процесса, использованный для расчета конструктивных параметров системы дезинтеграции высокопластичных песков и их гидросмесей, изображен на рис. 2 (а). Для обеспечения заданной производительности звуковой установки рекомендуется размещение четырех пакетов ультразвуковых излучателей на основе пьезокерамических преобразователей на концах консолей крестообразного несущего элемента 3, которые одновременно в первой позиции 4 обрабатывают первый

блок песка размером $2 \times 2 \times 0,5$ м, рис. 2 (а). Каждый излучатель имеет выходную акустическую мощность излучения ультразвука от 30 до 120 кВт/м^2 при частоте излучения 22—25 кГц. При этом максимальная потребляемая мощность четырех преобразователей не превышает 0,1 кВт, а шестнадцати преобразователей для обработки на глубину 0,5 м — 0,4 кВт и 0,8 кВт для обработки на глубину до одного метра. В час обрабатывается 100 м^3 , потребляемая мощность на 100 м^3 равна 80 кВтч.

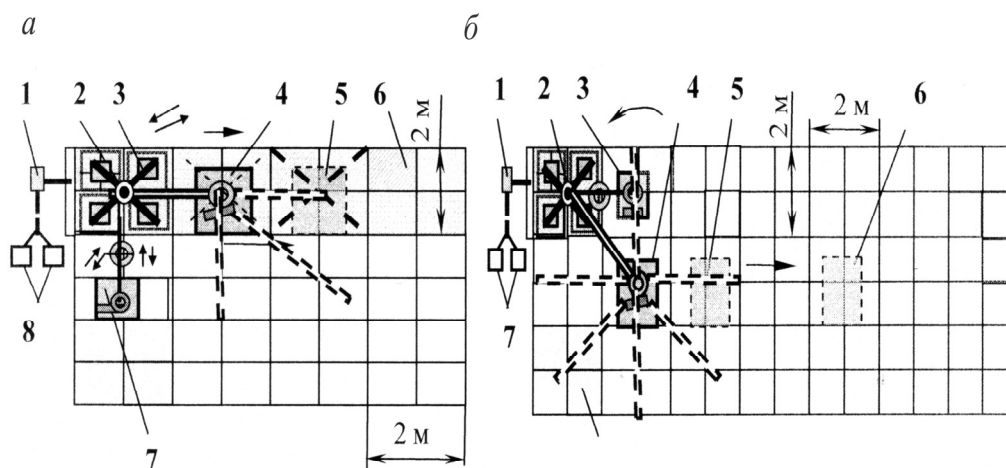


Рис. 2. Схема разработки россыпи в плане: вариант обработки участка по периметру (а): 1 — гидротранспортирующая система; 2 — ультразвуковая установка; 3 — несущий элемент звуковой установки; 4, 5 — первая и вторая позиции звуковой установки; 6 — элемент участка размером $2 \times 2 \text{ м}^2$, обрабатываемый за одну установку; 7 — механическая установка; 8 — концентраторы мощностью 11 кВт каждый; вариант обработки участка площадью $4 \times 8 = 32 \text{ м}^2$ с одной установки (б): 1 — гидротранспортирующая система; 2 — ультразвуковая установка; 3 — механическая установка; 4 — первая позиция размещения звуковой установки; 5 — вторая позиция размещения звуковой установки для обработки элемента участка, находившегося под установкой в первой позиции; 6 — третья позиция размещения звуковой установки для повторения цикла обработки аналогично первой позиции; 7 — концентраторы

Таблица 2

Рекомендуемые конструктивные параметры механической и звуковой установок

Тип установки	Тип элементов воздействия на пески и гидро-смесь и их количество	Конструктивные элементы соединения, несущие рабочий элемент, и их количество	Подвижность, направление перемещений элементов конструкций	Тип элемента управления, привода	Позиционирование элементов конструкций и их размеры
Ультразвуковая установка. Производит воздействие в ультразвуковом диапазоне излучения на водонасыщенные, неводонасыщенные пески и твердую составляющую гидросмеси	Ультразвуковые излучатели, 16	Пакеты ультразвуковых излучателей на подвесках крепящихся к несущему элементу с консолями , расположенными под прямым углом относительно друг друга в горизонтальной плоскости.	Излучатели установлены на подвесках с возможностью регулировки наклона к поверхности песков. Подвески перемещаются в вертикальной плоскости по направляющей. Несущий элемент вращается на оси и перемещается в вертикальной плоскости.	Гидравлическая или пневматическая система управления несущим элементом, подвесками и поворотом оси. Преобразователи работают от электронного генератора.	Максимальная длина консоли на консоли 1,4 м.
Механическая установка. Производит операции механического воздействия на водонасыщенные пески и твердую составляющую гидросмеси	Вращающаяся головка с режущими кромками, 1	Одна консоль и одна подвеска с вращающейся головкой	Консоль вращается на оси, подвеска перемещается вдоль консоли. Головка вращающаяся	Вращение головки от электропривода, остальные элементы перемещаются с помощью гидро- или пневмопривода.	Длина консоли регулируется от 1 до 2,1 м, подвеска позволяет перемещаться головке в вертикальной плоскости ниже уровня воды до 1,2 м

После обработки *неводонасыщенных* и *водонасыщенных* песков первого куба интенсивностью излучения от 3 до 12 Вт/см² включается режим излучения для обработки *твердой составляющей гидросмеси* с учетом объемного содержания воды. Интенсивность излучения при этом составляет величину от 2,5 до 12 Вт/см², потребляемая энергия — 40 кВтч., табл. 2. Затем несущий звуковые преобразователи элемент 3 поворачивается на 180° и начинает обработку *неводонасыщенных* и *водонасыщенных* песков третьего куба. В этот момент первый куб может обрабатываться дополнительно механической установкой 7 потребляемой мощностью 2,2 кВт. Позиционироваться механическая установка 7 может как на понтоне звуковой установки, так и отдельно, рис. 2. Механическая установка 1 снабжена вращающейся и перемещающейся в горизонтальной и вертикальной плоскостях головкой 5, которая внедряется в пески и совершает дуговые движения по всей поверхности, снимая слой глинистого песка, предварительно обработанный ультразвуком, рис. 3. После звуковой обработки песков третьего куба несущий звуковые преобразователи элемент 3 поворачивается вновь к пескам первого куба для обработки *неводонасыщенных* и *водонасыщенных* песков снова на глубину 0,5 м, рис. 2, а. После повторной обработки первого куба звуковая установка включается на *режим обработки твердой составляющей гидросмеси*, при этом интенсивность излучения составляет от 2,5 до 12 Вт/см². Затем снова обрабатываются *неводонасыщенные* и *водонасыщенные* пески третьего куба и *твердая составляющая гидросмеси* над ним теми же параметрами интенсивности излучения, которые применялись ранее.

После чего ультразвуковая установка переустанавливается для обработки второго и четвертого кубов, рис. 2, а. Последовательность обработки повторяется. Для диспергации *твердой составляющей гидросмеси* звуковые излучатели опускаются на глубину так, чтобы расстояние между осадком твердого и излучающей поверхностью составлял от 0 до 10 см. После дезинтеграции *гидросмеси* включается гидротранспортирующая система 1, которая подает гидросмесь на концентраторы 8, рис. 2, а. В центробежном поле концентраторов происходит отделение тяжелых фракций от более легких. Получаемый ценный компонент содержит, в том числе, частицы размером до 1—2 мкм. Рекомендуемые конструктивные параметры и технико-экономические показатели установок, применяемых при предлагаемой ультразвуковой технологии для переработки *высокоглинистых* песков с размером частиц менее 0,005 мм более 30 % и повышенном до 100 % содержании мелкого золота в табл. 2—3.

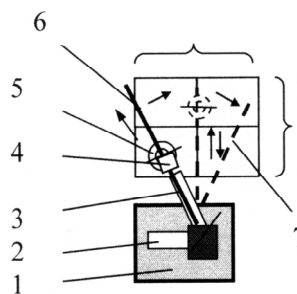


Рис. 3. Схема работы механической установки: 1 — механическая установка; 2 — привод поворота оси с консолью; 3 — привод перемещения подвески с головкой вдоль консоли; 4 — привод перемещения головки относительно подвески в вертикальной плоскости; 5 — вращающаяся головка установки с режущими кромками; 6 — консоль для перемещения головки; 7 — конечная позиция консоли, ориентированной на обработку 4 м² песка

Таблица 3

Технико-экономические показатели

Показатели	Ультразвуковая установка	Механическая установка	Концентратор
Напряжение питания при частоте 50 Гц	220+10%	220+10 %	220+10 %
Рабочая частота, кГц	(22—25)+10 %	-	—
Режим работы	2 смены		
Количество подключаемых преобразователей, шт.	16	—	—
Выходная акустическая мощность одного преобразователя при электронном генераторе, кВт	5—120	—	—
Потребляемая мощность одного преобразователя в рабочем режиме, кВт	0,025—0,4	—	—
Максимальная потребляемая мощность установки за час работы при заданной производительности 100 м ³ , в том числе:	160	2,2	11
• на обработку неводонасыщенных песков и водонасыщенных;	80	—	—
• на обработку твердой составляющей гидросмеси;	40	—	—
• на регулировку всех элементов конструкции, кВтч	40	—	—
Частота вращения консолей несущего элемента звуковой установки, мин ⁻¹	0,25±10 %	—	—
Охлаждение	Воздушное		
Производительность по твердому, м ³ /ч	100	100	50
Объем промывки песков, тыс. м ³	288	288	144
Коэффициент извлечения золота	—	—	0,9
Среднее содержание золота на пласт, г/м ³	0,8	0,8	0,8
Среднее содержание в песках фракции менее 0,005 мм, %	30 и более	30 и более	30 и более

На рис. 4 [12] представлен геотехнологический комплекс с перерабатывающим модулем, которые могут применяться при содержании глин до 30 % и содержании мелкого золота размером менее 0,5 мм не более 50 %.

В тех условиях, когда эффективность процесса подготовки песков в модуле предварительного ультразвукового воздействия на массив настолько эффективна, что позволяет получать до 50 % объема материала с фракциями

менее 0,5 мм, перерабатывающий модуль (рис. 4) может иметь достаточно ограниченное количество установок, рис. 5. Решение поставленной задачи в условиях нестабильности содержания ценного компонента, высокой глинистости и повышенного содержания мелкого золота усложненных форм и типов с помощью предлагаемых комплексов позволит на стадии выемки песков россыпей с разным типом пластичности осуществить эффективную

дезинтеграцию глинистой составляющей и последующее ее разрушение без потерь золота, в том числе, мелких его частиц размером от 0,5 до 0,002 мм экологически чистым способом, снизит разрушающее воздействие горного производства на экосистему, позволит сохранить уникальные природные комплексы региона.

Управление энергетическими параметрами ультразвукового излучения в процессе многоступенчатого влияния на гидросмесь осуществляется на основе предложенного нами в качестве оценочного параметра условного коэффициента трансформации. Коэффициент учитывает изменение удельной межфазной поверхности частиц $S_{\text{узд.0}}$ в процессе перехода от механического влияния к звуковому. Это снижает удельную энергоёмкость процесса

посредством определения области эффективного излучаемого потока энергии — интенсивности ультразвука при изменении исходных физических характеристик системы во временном интервале [4, 16]. Преимущества данного метода управления в том, что контроль за процессом разрушения твердой составляющей гидросмеси осуществляется в размерном диапазоне частиц от 0,002 до 0,5 мм. Таким образом, предложенная технологическая схема ультразвукового инициирования на основе определения и использования режимов воздействия на неводонасыщенные, водонасыщенные пески и гидросмесь, расчета условного коэффициента трансформации твердой составляющей гидросмеси обеспечивает повышение технологичности и снижение удельной энергоёмкости.

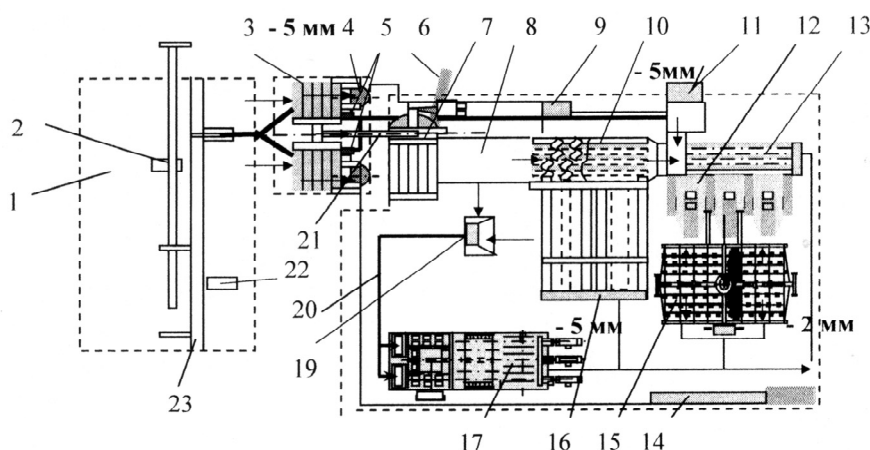


Рис. 4. Геотехнологический комплекс с перерабатывающим модулем [12]:

1 — модуль предварительного гидродинамического воздействия на уплотненные и водонасыщенные пески; 2 — эстакадный ультразвуковой комплекс; 3 — накопитель, над которым установлен шелевой дезинтегратор с направляющим поддоном для мелкой фракции менее 50 мм; 4 — многоуровневая поворотная установка с периодическим ультразвуковым воздействием; 5 — насос 6 К-8; 6 — устройство отвалообразования; 7 — ультразвуковой грохот; 8 — модуль шлюзов глубокого наполнения; 9 — ультразвуковой генератор; 10 — промежуточный грохот ультразвуковой дезинтеграции; 11 — автоматическая система управления комплексом; 12 — сборник концентрата; 13 — дезинтегратор УЗ; 14 — модуль обезвреживания с обратным водоснабжением; 15 — ультразвуковой обогатительный комплекс; 16 — модуль шлюзов мелкого наполнения с автоматическим сполоском; 17 — модуль доводки с отсадочными машинами и концентрационными столами или ультразвуковой перерабатывающий комплекс; 19 — сборник концентрата; 20 — напорное гидротранспортирующее устройство; 21 — транспортирующее устройство крупнокусковой фракции, выделенной в результате дезинтеграции на направляющем поддоне; 22 — бульдозер 355А; 23 — накопительная канава для гидросмеси с песчано-глинистой составляющей

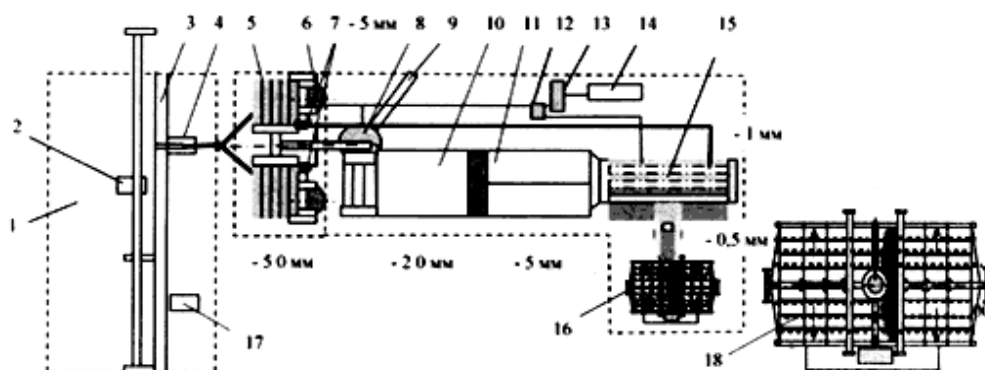


Рис. 5. Геотехнологический комплекс [12]: 1 — модуль предварительного гидродинамического воздействия на пески; 2 — ультразвуковой комплекс; 3 — накопительная канава; 4 — грунтовый насос; 5 — модуль с накопителем; 6 — многоуровневая поворотная установка с периодическим ультразвуковым воздействием (2 шт.); 7 — насос 6 К-8 (2 шт.); 8 — грохот-дезинтегратор с интенсификацией кавитации комбинированным воздействием ультразвука ВУЗ; 9 — устройство отвалообразования; 10 — автоматическая установка шлюзов глубокого наполнения; 11 — автоматическая установка шлюзов мелкого наполнения с гидрогрохотом; 12 — генератор ультразвука; 13 — автоматическая система управления комплексом; 14 — трансформаторная подстанция; 15 — дезинтегратор УЗ; 16 — ультразвуковой обогатительный комплекс; 17 — бульдозер Д-355А; 18 — ультразвуковой обогатительный комплекс в увеличенном масштабе [17]

Вывод

1. Для освоения глинистых россыпей благородных металлов Приамурья впервые разработаны и предложены для использования на практике научно обоснованные методические, технические и технологические решения, определяющие прогрессивное развитие методов и средств воздейст-

вия на залежь и гидросмесь физическими полями звуковой частоты.

2. Исключение реагентов обеспечит высокую безопасность работ, устранив необходимость предварительных анализов, связанных с исследованием процесса замещения ионов металлов для снижения коагуляции частиц, сократит ущерб от нарушения почв и земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Определение оптимальных параметров ультразвукового излучения при воздействии на краевые зоны золотосодержащих песков россыпей / Мамаев Ю.А., Н. П. Хрунина // Горный журнал. Изв. Вузов. — 2008. — № 6. — С. 71—74.

2. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Сравнительный анализ оптимальных параметров ультразвукового воздействия на водонасыщенные пески вскрытых участков золотосодержащих россыпей с учетом усредненной равновесной плотности и сжимаемости среды // Горный информационно-аналити-

ческий бюллетень: сб. науч. тр. — М.: Издательство МГГУ. — 2009. — № 8. — С. 179—186.

3. Хрунина Н.П. Математическое моделирование процесса образования новых поверхностей при ультразвуковом воздействии на песчано-глинистую породу в воде / Н. П. Хрунина // Горный информационно-аналитический бюллетень: сб. науч. тр. — М.: Издательство МГГУ. — 2008. — № 2. — С. 151—155.

4. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Экспериментальные исследования эффективности

ультразвукового воздействия на песчано-глинистую золотосодержащую породу после механической активации / Ю. А. Мамаев, Н. П. Хрунина // Горный информационно-аналитический бюллетень: сб. науч. тр. — М.: «Мир горной книги». — 2007. — № ОВ9. — С. 357—367.

5. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Определение оптимальных начальных параметров звукового воздействия на пульпу в зумпфовом накопителе при открытой разработке высокоглинистых россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень: сб. науч. тр. — М.: Издательство МГГУ. — 2009. — № 7. — С. 187—191.

6. Хрунина Н.П. Новые геотехнологические комплексы для направленного изменения свойств и состояния пород посредством механического воздействия и ультразвукового излучения // Горный информационно-аналитический бюллетень: сб. науч. тр. — М.: «Мир горной книги». — 2007. — № ОВ16. — С. 311—324.

7. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Определение оптимальных параметров ультразвукового излучения при воздействии на краевые зоны золотосодержащих песков россыпей // Изв. вузов. Горн. журн. — 2008. — № 6. — С. 71—74.

8. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Определение оптимальных начальных параметров звукового воздействия на пульпу в зумпфовом накопителе при открытой разработке высокоглинистых россыпей // ГОРНЫЙ информационно-аналитический бюллетень: сб. науч. тр. — М.: Издательство МГГУ. — 2009. — № 7. — С. 187—191.

9. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Сравнительный анализ оптимальных параметров ультразвукового воздействия на водонасыщенные пески вскрытых участков золотоносных россыпей с учетом усредненной равновесной плотности и сжимаемости среды // ГОРНЫЙ информационно-аналитический

бюллетень: сб. науч. тр. — М.: Издательство МГГУ. — 2009. — № 8. — С. 179—186.

10. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Экспериментальные исследования эффективности ультразвукового воздействия на песчано-глинистую золотосодержащую породу после механической активации // Дальний Восток: Сборник научных трудов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. — М.: Мир горной книги. — 2007. — № ОВ9. — С. 357—367.

11. Пат. 2203148, РФ. Грохот / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев. — 2003. — Бюл. № 12.

12. Пат. 2204441, РФ. Перерабатывающий геотехнологический комплекс / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев. — 2003. — Бюл. № 14.

13. Пат. 2264869, РФ. Способ направленного изменения свойств горной породы посредством СВЧ-термомеханического, ультразвукового и гравитационно-аэродинамического воздействий / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, А.В. Жуков, О.В. Стратечук. — 2005. — Бюл. № 33.

14. Пат. 2264870, РФ. Способ направленного изменения свойств горной породы посредством гравитационно-аэродинамического и ультразвукового воздействий / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, А.В. Жуков и др. — 2005. — Бюл. № 33.

15. Пат. 2276727, РФ. Способ управления процессом трансформации золотосодержащей породы / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев. — 2006. — Бюл. № 14.

16. Хрунина Н.П., Стратечук О.В. Новые аспекты научных и технологических основ направленного изменения состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых пород золотосодержащих россыпей / Н. П. Хрунина, — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. — 138 с.

17. Пат. 2231390, РФ. Ультразвуковой обогащающий комплекс / Н.П. Хрунина. — 2004. — Бюл. № 18.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мамаев Ю.А. — доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор,
Хрунина Н.П. — научный сотрудник, e-mail: npetx@mail.ru
Института горного дела ДВО РАН.