

УДК 622.271.1; 622.236.73

Ю.А. Мамаев, Н.П. Хрунина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
НА ПЕСКИ РОССЫПЕЙ**

На основе исследований физико-механических свойств песков россыпей определены коэффициенты поглощения звука и расстояние, на котором интенсивность излучения уменьшится в два раза. Полученные расчетные данные подтверждают возможность использования низких ультразвуковых частот при непосредственном влиянии на массив. Ключевые слова: интенсивность, частота звука, скорость ультразвука, коэффициент поглощения.

В настоящее время произошла убыль активных прогнозных ресурсов золота. Резервом становятся трудно перерабатываемые россыпи с пониженным содержанием ценного компонента и повышенным содержанием мелкого и весьма мелкого золота. Широко применяемые при разработке золотосодержащих россыпей технологии, которые включают процессы выемки песков и их дезинтеграции с помощью механического или гидромеханического воздействий, предназначены для песков с низким (до 25 %) содержанием глинистой составляющей. При этом потери мелких частиц золота только по официальным данным составляют до 58 % [1]. Технологии на основе физико-химического разупрочнения глинистых металлоносных песков россыпных месторождений основаны на избирательном воздействии полиэлектролитами, которые представляют собой весьма опасные растворы для окружающей среды [2, 3]. Протяженность месторождений, приуроченность их к водным бассейнам исключает использования физико-химических технологий, которые могут

привести к масштабному загрязнению природной среды.

Одним из прогрессивных направлений освоения залежей полезных ископаемых является использование физических полей звуковых и ультразвуковых частот для эффективного и безопасного извлечения и доизвлечения природного сырья. Тенденция снижения и нестабильность содержания ценного компонента, загрязнение природной среды требует использования совершенных способов и систем разработки нового уровня, основанных на более эффективных методах воздействия, исключающих дополнительное загрязнение окружающей среды. Особенную трудность создает сочетание двух факторов в одном объекте — высокая глинистость и повышенное содержание мелкого золота от 50 до 100 %. Но даже при содержании в песках глинистых частиц до 15 % и повышенном содержании мелкого и весьма мелкого золота, достигающего до 80 и 100 %, трудности дезинтеграции остаются весьма значительными. Исследование процессов ультразвукового воздействия

на глинистые золотосодержащие пески россыпей и их гидросмеси необходимо для решения задачи разрушения глинистой составляющей без потерь золота, в том числе, мелких его частиц размером от 0,5 до 0,001 мм.

Для выбора технологически эффективных параметров ультразвукового воздействия на рыхлые отложения золотоносного пласта необходимо знать характеристики затухания волны, т.е. уменьшение ее амплитуды и интенсивности по мере распространения в массиве. Затухание может быть вызвано тремя причинами: расхождением, рассеянием и поглощением. Расхождение связано с перераспределением энергии на все увеличивающуюся поверхность волнового фронта. Рассеяние звуковой волны возникает при дифракции звука на различных неоднородностях, отличающихся плотностью или сжимаемостью. Непостоянство сжимаемости приводит к пульсации рассеивающего тела, а колебания плотности создают дополнительное движение тела как целого или его осцилляцию. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля, звуковое поле рассматривается как результат интерференции первичной и вторичной (рассеянной) волн [4]. Если рассматривать рассеивающие центры как независимые и рассеяние считать однократным, то изменение интенсивности I волны по мере ее распространения можно представить как [4]

$$\frac{dI}{dx} = -nF \cdot I,$$

где n — число рассеивающих центров, F — площадь сечения рассеяния, представляющая собой отношение мощности рассеянных волн и

плотности потока энергии в первичной волне.

Для препятствий с геометрическими параметрами, большими или равными длине волны, сечение рассеяния F по порядку величины равно площади поперечного сечения F_n препятствия в направлении, перпендикулярном распространению первичной волны. При размере препятствия меньше длины волны отношение F/F_n по порядку величины равно $(ka)^4$, где k — волновое число, а a линейный размер тела рассеяния [4].

Наиболее важной причиной затухания звуковой волны является поглощение звука, поскольку именно от этого эффекта зависит переход энергии колебаний в другие виды энергии и, в конечном счете — в тепловую энергию, что определяет технологическое действие звуковой волны. В твердых телах [5] коэффициент поглощения звука α определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\varepsilon \cdot \pi}{\Lambda},$$

где ε — коэффициент потерь; Λ — длина волны.

С целью разработки новых возможностей освобождения мелкого золота от глинистых включений с 2002 по 2008 г. в ИГД ДВО РАН были проведены экспериментальные исследования по изучению физико-механических свойств песков, взятых из золотосодержащих россыпей Приамурья. Тип и число пластичности песков определялись по содержанию в пробах фракций размером менее 0.005 мм. Исследуемые образцы песков по типу были классифицированы как высокопластичные, среднепластичные и слабопластичные.

Плотность песков определялась весовым методом. Скорость звука определялась в сухих образцах с помощью ультразвукового прибора ГСП УК-10П. Средняя скорость звука в образцах слабопластичных песков составила 2000 м/с, среднепластичных песков — 2500 м/с, высокопластичных песков — 3000 м/с [6].

По справочнику физических величин [140] находим величину добротности Q и определяем коэффициент потерь ε по формуле [5]

$$\varepsilon = 1/Q.$$

Самый низкий коэффициент потерь у известняка при сдвиговых импульсах, частоте излучения звука от $3 \cdot 10^6$ до $15 \cdot 10^7$ Гц, добротности $Q = 400$ (поз. 7, рис. 1) и при продольных импульсах, частоте излучения звука от $5 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^7$, добротности $Q = 100$ и $Q = 190$ (поз. 5, 6, рис. 1), а также у глинистого сланца при частотах

излучения звука от $3,4 \cdot 10^3$ до $12,8 \cdot 10^3$ Гц и добротности $Q = 73$, позиция 1, рис. 1. Самый высокий коэффициент потерь при продольном резонансе у покрывающих пород при частоте звука $(1,1-6,6) \cdot 10^3$ Гц и добротности $Q=45$, позиция 3, рис. 2.

Определяем для золотосодержащих песков россыпей зависимость коэффициента поглощения звука α от длины волны λ , рис. 2.

На основе коэффициента поглощения звука α определено расстояние x , на котором происходит ослабление интенсивности излучения звука в два раза [4]

$$I_0/I = e^{2\alpha x}, \quad x = \ln 2 / 2\alpha = 0.346 / \alpha.$$

Время, за которое интенсивность излучения звука убывает в два раза, определится по формуле $t=x/V$, где V — скорость звука в слабопластичных, среднепластичных и высокопластичных песках исследуемых россыпей.

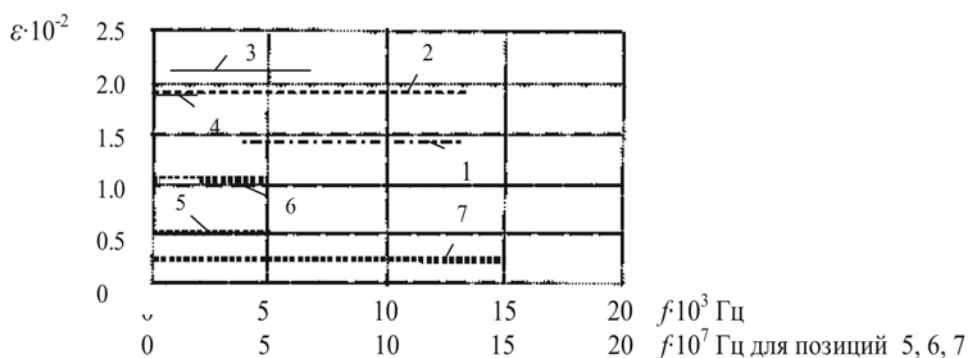


Рис. 1. Зависимость коэффициента потерь звука от частоты звукового излучения: 1 — глинистый сланец (продольный резонанс), добротность $Q = 73$; 2 — песчаник (продольный резонанс), добротность $Q = 52$; 3 — покрывающие породы (продольный резонанс), добротность $Q = 45$; 4 — покрывающие породы (сдвиговый резонанс), добротность $Q = 52$; 5 — известняк (продольные импульсы), добротность $Q = 190$; 6 — известняк (продольные импульсы), добротность $Q = 100$; 7 — известняк (сдвиговые импульсы), добротность $Q = 400$

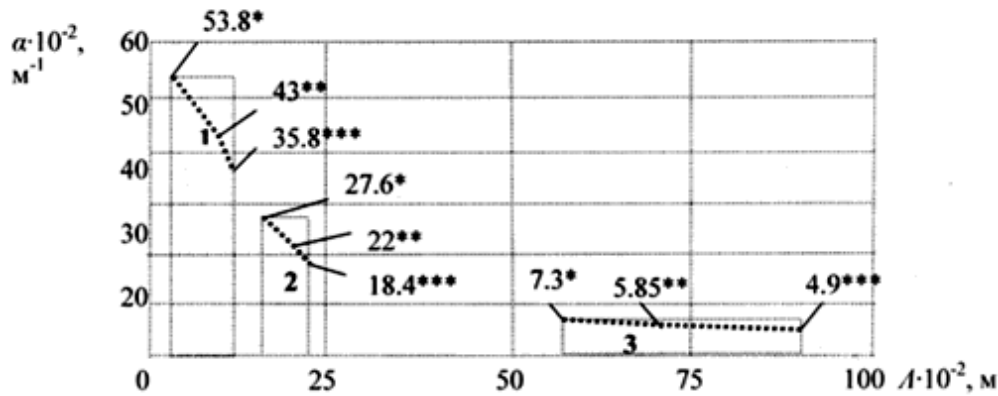


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения звука α исследуемых золотосодержащих песков россыпей от длины волны λ :

1, 2, 3 — при частотах излучения звука 25, 12,8 и 3,4 кГц соответственно; пески исследуемых россыпей слабопластичные (*), среднепластичные (**) и высокопластичные (***)

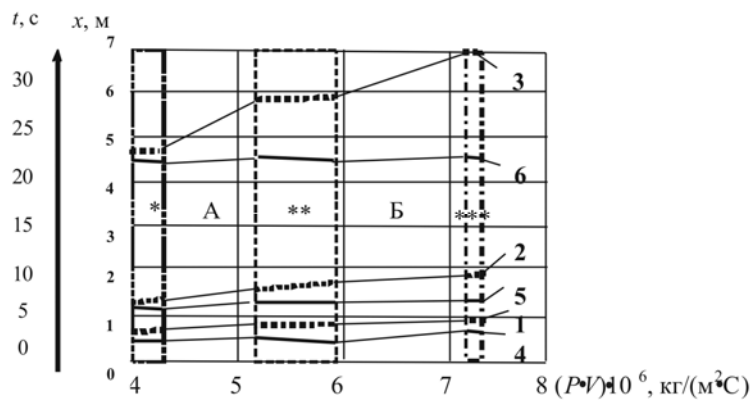


Рис. 3. Зависимость изменения расчетного расстояния x и времени t , при которых интенсивность волны убывает в два раза, от волнового сопротивления песков $\rho \cdot V$ с преобладанием кварца:

1, 2, 3 (4, 5, 6) — кривые изменения расстояния (времени), соответственно, при частоте излучения 25, 12,8 и 3,4 кГц; Диапазон исследуемых изменений волнового сопротивления песков: * — слабопластичных, ** — среднепластичных, *** — высокопластичных; участки кривых 1—6 в зонах А (между параметрами волнового сопротивления слабопластичных и среднепластичных песков) и Б (между параметрами волнового сопротивления среднепластичных и высокопластичных песков) аппроксимированы прямыми

По данным исследований Института горного дела ДВО РАН в песках россыпей содержится более 66 % кварца. На основании проведенных

расчетов построены графические зависимости изменения времени t и расстояния x , на котором интенсивность волны убывает в два раза, от

волнового сопротивления песков ($\rho \cdot V$) с преобладанием кварца, рис. 3.

Для участков песков с преобладанием кварца при частоте 25 кГц, длине волны 0,08 м (слабопластичные пески) и коэффициенте поглощения звука $\alpha=0,538$ ослабление интенсивности в два раза происходит на расстоянии 0,643 м за время $3,2 \cdot 10^{-4}$ с. При длине волны 0,1 м (среднепластичные пески) и коэффициенте поглощения звука $\alpha=0,43$ ослабление интенсивности в два раза произойдет на расстоянии 0,8 м за то же время. При длине волны 0,12 м (высокопластичные пески) и коэффициенте поглощения звука $\alpha = 0,358$ такое же ослабление интенсивности осуществится на расстоянии 0,966 м, за то же время.

Мощность песков исследуемых высокоглинистых россыпей от 0,5 до 20 метров. Полученные расчетные параметры затухания интенсивности излучения звука подтверждают возможность использования низких ультразвуковых частот для непосредственного влияния на массив.

Выводы

1. На основе исследований физико-механических свойств песков россыпей определены коэффициенты поглощения звука и расстояние, на котором интенсивность излучения уменьшится в два раза.

2. Полученные расчетные данные подтверждают возможность использования низких ультразвуковых частот, в том числе 25 кГц, для непосредственного влияния на пески с разным типом пластичности для их дезинтеграции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шемякин С.А.* Обоснование эффективных технологий открытых горных работ на основе совершенствования процесса выемки пород: дис. докт. техн. наук. — Хабаровск.: Институт горного дела ДВО РАН, 2004. — 292 с.
2. *Мязин В.П.* Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков. Ч. 2. — Чита: ЧитГТУ, 1996. — 119 с.
3. *Мязин В.П.* Физико-химические методы интенсификации процессов первичной добычи и переработки глинистых золотосодержащих песков: автореферат дис. ... докт. техн. наук. — М.: МГРИ, 1987. — 28 с.
4. *Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н., Эскин Г.И.* Основы физики и техники ультразвука. — М.: В. шк., 1987. — 352 с.
5. *Голямина И.П.* Ультразвук. — М.: Сов. Энциклопедия, 1979. — 400 с.
6. *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-аналитический бюллетень: сб. науч. тр. — М.: Издательство МГУ. — 2009. — № 8. — С. 179—186.
7. *Физические величины: справк.* / А.П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; под ред. И. С. Григорьева, Е. З., Мейлихова. — М., Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мамаев Юрий Алексеевич — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,
Хрунина Наталья Петровна — научный сотрудник,
Институт горного дела Дальневосточное отделение РАН,
e-mail: npetx@mail.ru.