~ ~ ~

УДК 622.271.63:622.236.73

# Score Influence of Water Saturation Conditions on Highly Clay Sands of Noble Metals for Subsequent Disintegration

Natalya P. Khrunina\* and Anton Yu. Cheban Institute of Far Eastern Branch RAS 5 Ussuriyskiy b-r, Khabarovsk, 680000, Russia

Received 12.12.2014, received in revised form 18.01.2015, accepted 26.02.2015

The results of studies of highly clayey sands alluvial deposits of the Khabarovsk region. Identified the nature of changes of elastic characteristics of sands, their monotony and marginal impact by water saturation. Found, the sands of gold Placer are complex enough to disintegration due to its high content of iron oxides, clay minerals kaolinite and montmorillonite. Proposed to address the problem effectively weakening the sands with high clay content use of the systems, including pulse and wave effects.

Keywords: disintegration, clayey sands.

Оценка влияния водонасыщения на высокоглинистые пески благородных металлов для последующей их дезинтеграции

# Н.П. Хрунина, А.Ю. Чебан

Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Россия, 660041, Хабаровск, Уссурийский б-р, 5

Рассмотрены результаты исследования высокоглинистых песков россыпного месторождения Хабаровского края. Выявлен характер изменения упругих характеристик песков, их монотонность и граничная результативность при водонасыщении. Установлено, что пески исследуемой золотоносной россыпи являются достаточно сложными для дезинтеграции из-за высокого содержания оксидов железа, глинистых минералов каолинита

<sup>©</sup> Siberian Federal University. All rights reserved

<sup>\*</sup> Corresponding author E-mail address: npetx@mail.ru

и монтмориллонита. Для решения проблемы эффективного разупрочнения песков с повышенной глинистой составляющей предлагается использование систем, включающих импульсное и волновое воздействия.

Ключевые слова: дезинтеграция, глинистые пески.

## Постановка проблемы и анализ последних исследований

В результате многолетней отработки россыпных месторождений на территории Дальневосточного региона возникла необходимость вовлечения в эксплуатацию погребенных и других сложноструктурных месторождений с высоким содержанием глины — в отдельных случаях до 90—99 % — мелким, тонким и пластинчатым золотом [1]. Многие старательские артели не могут в настоящее время решить проблему потерь пластинчатого тонкого золота, которое находится в россыпях в большом количестве. Применение традиционных способов отработки высокоглинистых песков позволяет отрабатывать месторождения с содержанием глины до 30—40 %, при этом потери золота с окатышами составляют величину до 54 % [2, 3].

В процессе переработки высокоглинистые пески дезинтегрируют в среднем не более 10 % при дражном способе разработки и максимум до 25 % при использовании промывочных установок типа ПГШ и ГПСС в комплексе с гидровашгердом [2, 4]. Поэтому большое внимание уделяется исследованиям процессов дезинтеграции, которые во многом зависят от изменения структурных особенностей и физико-механических характеристик глинистых песков при водонасыщении [4]. Особую роль для снижения потерь металла при дезинтеграции играет необходимость разрушить структурные связи глинистых частиц, которые зачастую бывают очень прочными из-за повышенного содержания оксидов железа и кремния [2]. В зависимости от состава и структуры глинистой породы между частицами могут существовать такие виды взаимодействий, как гравитационные, магнитные, молекулярные, электростатические, ионно-электростатические, силы поверхностного натяжения и силы, обусловленные химическими связями. Характер индивидуальных контактов, а также их количество служат важными показателями структуры породы, от которых зависят ее прочностные и деформационные свойства [5]. В зависимости от характера проявления молекулярных и молекулярно-ионно-электростатических сил в глинистых песках происходит различная агрегация частиц, образуются различные структуры глинистых пород. Отмечаются также связи магнитного характера и связи, появляющиеся вследствие контактной разности потенциалов. Наряду с первичным сцеплением в глинистых породах со временем развиваются прочные цементационные связи. Определенную роль играют и силы внутреннего трения между частицами, зависящие от плотности, влажности и напряженного состояния породы [6]. Весьма прочные водостойкие связи не позволяют известными методами и средствами эффективно дезинтегрировать глинистую составляющую песков. В ряде ранее выполненных работ [7-8] была показана зависимость физико-механических свойств песков россыпей от степени их водонасыщения. В статье [9] представлены технологические схемы разработки россыпных месторождений с глинистыми песками, предусматривающие подготовку песков к дезинтеграции методами управляемого водонасыщения с последующей их вторичной добычей и обогащением. Рассмотрены вопросы дезинтеграции посредством физико-механического воздействия на высокоглинистые пески [10-11].

### Постановка и решение задачи

Выполненные ранее исследования не позволяют в достаточной степени охарактеризовать процесс дезинтеграции мелкодисперсных глинистых частиц золотоносных россыпей на стадии предварительной оценки. Недостаточно изучены физико-механические — прочностные, акустические, упругореологические, деформационные, динамические, теплофизические; физико-химические — сорбционная активность, ионообменная способность, набухание, тиксотропность, коагуляционная способность, дилатансия, а также структурно-механические свойства — геометрические, в том числе дисперсность; морфометрические — фазовые соотношения, размеры, форма, характер поверхности структурных элементов и их количественное соотношение; энергетические — коагуляционные, кристаллизационные, конденсационные структурные связи, их общая энергия и другие свойства глинистых песков россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе. Недостаточно изучены упругие характеристики и характер изменения физико-механических свойств глинистых песков при водонасыщении.

Цель исследований состояла в изучении структурно-механических свойств, а также в получении данных, определяющих изменения упругих характеристик золотоносных глинистых песков месторождения «Болотистый» Хабаровского края при влиянии различной степени водонасыщения для предварительной оценки дезинтегрируемости.

### Методика исследований

Исследования проводили на оборудовании и приборах Центра коллективного пользования ИГД ДВО РАН, Института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН и Испытательного центра ДВГУПС. Рентгенофазовый анализ проб исследуемого месторождения осуществляли с помощью дифрактометра ДРОН-7. Напряжение трубки 40 кВ, ток накала 20 µА. Шаг сканирования по углу 2Theta 0.05 град. Для идентификации линий рентгеновских спектров использовался программный пакет PDWin (НПП «Буревестник»). С помощью рентгенофлюоресцентного спектрометра Mobilab X-50 выполнен спектрометрический анализ. После определения гранулометрии образцов посредством лазерного дифракционного микроанализатора — Laser Particle Sizer «Analysette 22», работающего на основе сходящегося лазерного луча, исследовалась дисперсность фракции размером менее 0,5 мм. Для определения плотности образцов и естественной начальной влажности применялись стандартные методики. Скорость ультразвука в продольном направлении в образцах размером 0,24х0,22х0,16м, отобранных на месторождении, определялась для аналитических расчетов упругих характеристик песков.

# Результаты исследований

Рентгенофазовым анализом в пробах исследуемого месторождения установлены минералы: каолинит, монтмориллонит, сидерит. Наиболее трудноразрушаемыми являются каолиновые глины, за ними следуют гидрослюды и монтмориллониты. Спектроскопия показала преобладание по массе соединений Fe (63,728 кг/т,) K, Ca, Ti, Mn, Ba, Zr, Cr, Sr. Выявленное преобладание в пробах соединений железа Fe может свидетельствовать о прочных водостойких связях. На рис. 1 представлена спектрограмма образца В-1-1 исследуемого месторождения. Ситовым анализом определен гранулометрический состав проб (рис. 2).

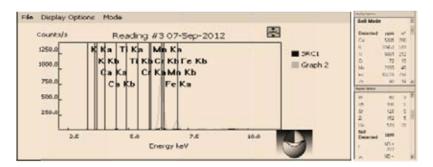


Рис. 1. Спектрограмма образца В-1-1 месторождения «Болотистый»

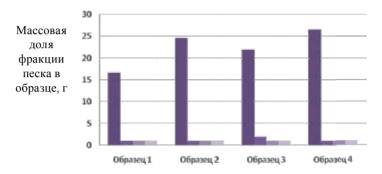


Рис. 2. Гистограмма содержания массовой доли материала по фракциям (слева направо): -0.5 мм; -1+0.5 мм; 2+1 мм; +2 мм

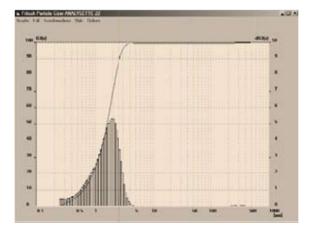


Рис. 3. Гистограмма и интегральная кривая распределения дисперсности частиц по размерам, образец 4 месторождения «Болотистый»

Содержание фракций размером менее 0,5 мм в пробах исследуемых глинистых песков до 99,8 %. На рис. 3 представлена гистограмма и интегральная кривая распределения дисперсности частиц по размерам одного из образцов месторождения «Болотистый». Содержание частиц диаметром менее 5 мкм — 99,67 %.

Исследование свойств высокоглинистых песков при водонасыщении во многом предопределяет выбор способа разработки песков и обосновывает необходимость совершенствования процессов дезинтеграции. Эспериментальным и аналитическим путем определены: параметры изменения эффективной сжимаемости; скорости продольной ультразвуковой волны V при равновесной эквивалентной плотности; модуль сдвига  $\mu$  (вторая компонента Лямэ); модуль продольного растяжения E (модуль Юнга) и коэффициент поперечного сжатия  $\nu$  (коэффициент Пуассона) при изменении водонасыщения до 30 % исследуемого месторождения «Болотистый».

На рис. 4 показаны зависимости модуля Юнга и модуля сдвига  $\mu$  от равновесного значения волнового сопротивления  $\zeta = \rho \cdot V$  песков при изменении влажности от 20 до 30 %. Модуль сдвига  $\mu$  и первая компонента Лямэ  $\lambda$  для песков с естественной влажностью и влагонасыщенных до 30 % определялись

$$\mu = \rho \cdot V_1^2$$

по формулам [12]

$$\lambda = \rho (V^2 - V_1^2),$$

где  $\rho$  — равновесная эквивалентная плотность песков с естественной влажностью, определенная экспериментальным путем, или влагонасыщенных песков, полученная расчетным путем, кг/м³;  $V_1$  — расчетная скорость поперечных волн в зависимости от водосодержания; V — измеренная экспериментальным путем скорость продольных волн в образце с естественной влажностью или скорость продольных волн в водонасыщенных песках, полученная расчетным путем, м/с.

Модуль продольного растяжения Е определен по формуле [12]:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}.$$

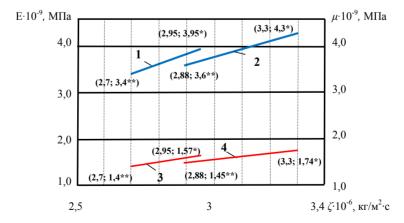


Рис. 4. Зависимости модуля упругости Е (1,2) и модуля сдвига  $\mu$  (3,4) от равновесного значения волнового сопротивления  $\zeta$  песков месторождения «Болотистый» при водонасыщении от 20 до 30 %: \* — при начальной влажности песков; \*\* — при 30 % содержании воды в песках

При изменении влажности глинистых песков исследуемого месторождения от 20 до 30 % волновое сопротивление песков меняется от  $3,3\cdot10^{-6}$  до  $2,7\cdot10^{-6}$  кг/м²·с, модуль продольного растяжения Е изменяется от  $4,3\cdot10^9$  до  $3,4\cdot10^9$  МПа, модуль сдвига  $\mu$  или вторая компонента Лямэ изменяется от  $1,74\cdot10^9$  до  $1,4\cdot10^9$  МПа. Таким образом, при увеличении влажности на 10 % модуль продольного растяжения Е снижается в среднем на 15 %, а модуль сдвига  $\mu$  — на 13,8 %.

Характер воздействия применяемых систем дезинтеграции глинистых песков на объектах золотоносных россыпей в настоящее время основан на реализации физического принципа, работающего на создание механических напряжений сжатия и сдвига. Прочность на растяжение дисперсных горных пород ниже их прочности на сжатие, а модуль сдвига исследуемых песков по сравнению с модулем продольного растяжения ниже в 2,5 раза, следовательно, необходимо создавать системы, работающие в большей степени на сдвиг. Особое значение приобретает необходимость волнового воздействия на глинистую составляющую при дезинтеграции песков для извлечения пластинчатого тонкого золота.

Для решения проблемы эффективного разупрочнения золотосодержащих песков россыпей с повышенной глинистой составляющей могут быть использованы кавитаторы [13], а также технологии с инициированием импульсного и волнового воздействия посредством преобразования электрофизических и других видов энергии в механические и гидродинамические [14, 16].

### Выводы

Наличие глинистых минералов каолинита и монтмориллонита в исследуемых образцах песков исследуемого месторождения, а также выявленное преобладание в пробах соединений железа Fe, которое может свидетельствовать о прочных водостойких связях, позволяет отнести пески к трудноразрушаемым.

Установленное гранулометрическим анализом содержание фракций размером менее 0,5 мм в пробах исследуемых глинистых песков равное 99,8 % и — содержание частиц диаметром менее 5 мкм равное 99,67 %, также подтверждает весьма сложный характер исследуемых песков для последующей дезинтеграции.

Углы наклона кривых  $E(\zeta)$  и  $\mu(\zeta)$  отображают влияние водонасыщения, которое более эффективно выражено для модуля Юнга E, чем модуля сдвига  $\mu$ .

При одних и тех же значениях волнового сопротивления исследуемых песков модуль сдвига  $\mu$  ниже модуля упругости в 2,5 раза, следовательно, необходимо создавать системы дезинтеграции высокоглинистых песков россыпей, работающие в большей степени на сдвиг.

# Список литературы

- [1] *Ван-Ван-Е А.П.* // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 2. С. 331-336.
- [2] *Хрунина Н.П., Мамаев Ю.А., Пуляевский А.М., Стратечук О.В.* Новые аспекты научных основ ультразвуковой дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей Приамурья / ред. А.М. Пуляевский. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. 167 с. ISBN 978-5-7389-1030-2.

- [3] *Карепанов А.В., Кисляков В.Е.* // Фундаментальные исследования. 2005. № 1. С. 51–52; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\_article&article\_id=5631
- [4] *Красноштанов Н.В.* // Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat http://www.dissercat.com/content/izyskanie-sposobov-predvaritelnoi-podgotovki-glinistykh-peskov-dlya-povysheniya-effektivnost#ixzz2xDBIocgn.
  - [5] Соколов В.Н. // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 9. С. 59-65.
- [6] *Горькова И.М.* Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях М., 1975.
- [7] *Хрунина Н.П.* // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 2. С. 49-51.
  - [8] Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. // ФТПРИ. 2012. № 5. С. 35-40.
  - [9] Кисляков В.Е., Никитин А.В. // Горный журнал. 2010. № 2.
  - [10] Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. // Известия вузов. Горный журнал. 2008. № 6. С. 71-74.
  - [11] Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. // Горный журнал. 2013. № 10. С. 50-52.
- [12] Агранат Б.А., Башкиров В.И., Китайгородский Ю.И., Хавский Н.Н. Ультразвуковая технология. М.: Металлургия, 1974. 503 с.
- [13] Пат. № 2348809 Российская Федерация, (2007) / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев Б. И. 2009. Бюл. № 7.
  - [14] Григорьев А.Л. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. М., 2007. 16 с.
  - [15] Гимадеев М.М. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Набережные Челны, 2009. 18 с.
- [16] Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. 324 с.