

Н.П. Хрунина, А.Ю. Чебан

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Приведены результаты исследования высокоглинистых песков рудно-россыпного месторождения руч. Болотистый Хабаровского края. Выявлен характер изменения упругих характеристик песков при водонасыщении. Установлено, что пески исследуемой золотоносной россыпи являются достаточно сложными для микродезинтеграции. Для снижения потерь ценных компонентов обоснована необходимость расширения исследований процессов, основанных на последовательном совмещении дополнительных гидродинамических эффектов, формируемых резонаторами различного типа.

Ключевые слова: водонасыщение, фазовый анализ, скорость ультразвука, волновое сопротивление, микродезинтеграция.

На основе многофакторного анализа выделен ряд объектов золотороссыпных месторождений Дальневосточного региона, ввод в эксплуатацию которых сдерживается недостаточно интенсивным развитием техники и технологии добычи из-за высокого содержания мелкого и весьма мелкого золота и повышенной глинистости золотоносного пласта. В настоящее время вовлекаются в эксплуатацию новые типы россыпей, ранее не относившиеся к промышленным объектам, – литоральные, элювиальные, техногенные, аллювиальные россыпи более сложного строения, менее богатые, содержащие значительную долю золота мелких фракций. Факторами, сдерживающими в настоящее время увеличение объемов эффективной переработки золотосодержащих песков, являются высокая энергоемкость применяемых горных машин и технологического оборудования, низкое качество процесса дезинтеграции, значительные потери ценных компонентов, достигающие 50% и более, обусловленные не только отклонениями технологических режимов от оптимальных значений, но несовершенством конструкций машин

и технологических процессов [1–5]. Глубокая дезинтеграция высокоглинистых песков месторождений благородных металлов во многом зависит от влияния водонасыщения на упругие характеристики песков. В настоящее время требуется более детальное изучение высокоглинистых песков россыпей региона с повышенным содержанием мелкого, тонкого, пластинчатого золота и в сростках, в том числе исследование изменения состояния золотоносных песков при водонасыщении, играющем значительную роль в разрушении структурных связей между глинистыми частицами и агрегатами при дезинтеграции и последующем выделении микрочастиц ценных компонентов. Одним из характерных месторождений, участки которого имеют высокое содержание мелких глинистых частиц в песковой фракции, является золотоносная россыпь в пойме руч. Болотистый (Хабаровский край). Данное месторождение локализовано на фланге Центрального Сихотэ-Алиньского разлома и представлено в виде зон штокверкообразного и линейного прожилковожилкового окварцевания. Россыпь представляет единую залежь,

выдержанную по ширине и мощности с относительно равномерным распределением золота. Плотик россыпи сложен интенсивно выветрелыми туфогенными песчаниками, базальтами и аллохтонными глинами (продукты корообразования по перечисленным породам). Золото в россыпи мелкое, пылевидное. Форма золотин тонко-таблитчатая, пластинчатая, чешуйчатая. Среднее содержание золота в песках 612 мг/м^3 . Разработка месторождения осуществляется открытым гидромеханизированным способом. Промывка и обогащение песков ведется гидроэлеваторными приборами ПГШ-II-50 со шлюзами глубокого и мелкого наполнения. Расчетное извлечение золота на шлюзах глубокого наполнения (ШГН) составляет 58,3%, на шлюзах ШМН – 27,6%. Высокое содержание тяжелых минералов-попутчиков снижает эффективность извлечения золота на шлюзах мелкого наполнения, забивая и уплотняя улавливающие покрытия [6].

Цель настоящей работы состоит в рассмотрении подходов к решению проблемы дезинтеграции высокоглинистых песков с мелкими и пылевидными частицами золота. Измерения проводились на приборах и оборудовании Центра коллективного пользования ИГД ДВО РАН, Института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН и Испытательного центра ДВГУПС. Экспериментальным путем определялась гранулометрия песков, а также – дисперсность, плотность, влажность, скорость ультразвука. Расчетным путем – волновое сопротивление, модуль сдвига, модуль Юнга в исходном состоянии и при водонасыщении до 30%. Гранулометрический состав проб определен ситовым анализом. Исследование дисперсности песковой фракции с размером частиц менее 0,5 мм проводилось на лазерном дифракционном микроанализа-

торе размеров частиц ANALYSETTE 22. Спектрометрический анализ выполнен на рентгенофлуоресцентном спектрометре Mobilab X-50. Фазовый анализ проб изучался с помощью дифрактометра ДРОН-7. Напряжение трубки – 40кВ, ток накала – 20 μA . Шаг сканирования по углу 2θ – 0,05 град. Для идентификации линий рентгеновских спектров использовался программный пакет PDWin (НПП «Буревестник»). Для определения упругих характеристик песков с помощью прибора «Пульсар-1.1» измерялась скорость продольных волн в образцах с естественной влажностью. Рабочая частота составляла 60 кГц. Эксперимент проводился при температуре воздуха 23 °С и относительной влажности 70%.

Рентгенофазовым анализом проведена идентификация линий рентгеновских спектров. В пробах исследуемого месторождения руч. Болотистый установлены минералы: каолинит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, монтмориллонит $\text{Na}_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $(\text{Al}(\text{OH})_2)_{0,33}\text{Al}_2(\text{Si}_{3,67}\text{Al}_{0,33}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, сидерит FeCO_3 . Наиболее трудноразрушаемыми являются каолиновые глины, за ними следуют гидрослюды и монтмориллониты. На рис. 1 представлена дифрактограмма максимумов интенсивности от систем различных кристаллографических плоскостей образца, принадлежащего месторождению руч. Болотистый. Спектроскопия показала преобладание по массе соединений Fe (до 6,4%), K (до 2,2%), Ca (до 0,5%), Ti (до 0,6%). Содержание в образцах соединений Zn, W, Rb, Mn, Ba, Zr, Cr, Sr менее 1%. Присутствие двух типов глинистых минералов, которые образуют трудноразрушаемые структурные связи, а также выявленное преобладание в пробах соединений железа Fe, предопределяет усложнение процесса микродезинтеграции песков.

Содержание частиц размером менее 5 мкм в песковой фракции дости-

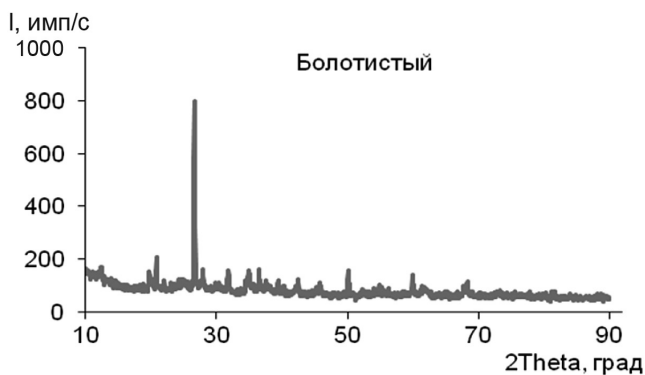


Рис. 1. Дифрактограмма пробы золотороссыпного месторождения в пойме ручья Болотистый

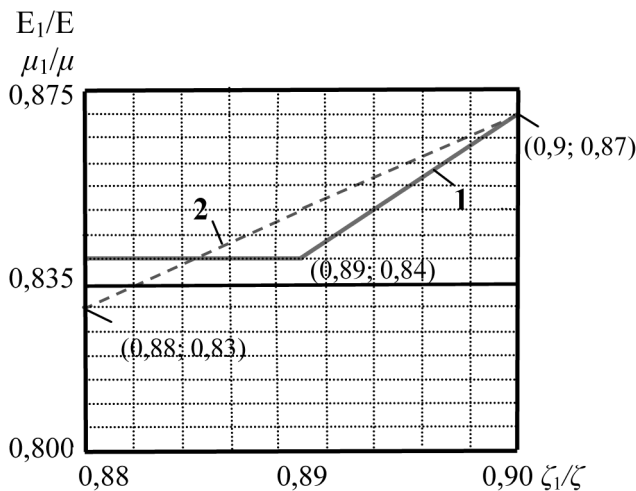


Рис. 2. Зависимости в безразмерных параметрах относительных значений модуля продольного растяжения (1) и сдвига (2) высокоглинистых золотороссыпных песков месторождения руч. Болотистый при изменении их водонасыщения

гает от 97 до 99%. Содержание частиц диаметром менее 300 мкм – 99,7%, менее 200 мкм – 99,4%, менее 5 мкм – 97,5%. Эспериментальным путем определена плотность, измерена скорость ультразвукового импульса V продольной волны в образцах. Аналитическим путем определены: параметры изменения эффективной сжимаемости; скорости продольной ультразвуковой волны V_p при равновесной эквивалентной плотности; модуль сдвига μ ; модуль продольного растяжения E и

коэффициент поперечного сжатия ν при естественной влажности и при изменении водонасыщения песков исследуемого месторождения до 30%. Волновое сопротивление при естественной влажности песков составляло величины от $2,2 \cdot 10^3$ до $3,3 \cdot 10^3$ кг/м² · с. Модули сдвига μ исследуемых песков, первые компоненты Лямэ λ , а также модули E продольного растяжения для песков в естественном состоянии и водонасыщенных до 30% определяли по формулам [2]. Определен неоднозначный характер влияния водонасыщения на упругие характеристики песков на основе изменения зависимостей относительных модулей сдвига и растяжения. На рис. 2 представлены зависимости относительных модулей продольного растяжения E_1/E и сдвига μ_1/μ , полученные расчетным путем при исследовании проб с участков россыпного месторождения руч. Болотистый, от относительного равновесного волнового сопротивления ζ_1/ζ водонасыщенных ζ_1 по отношению

к пескам с естественной влажностью ζ . Полученные зависимости в безразмерных параметрах показывают характер их изменения при увеличении водонасыщения высокоглинистых песков до 30%. Углы наклона кривых $(\mu_1/\mu)(\zeta_1/\zeta)$ и $(E_1/E)(\zeta_1/\zeta)$ не совпадают между собой, следовательно, влияние водонасыщения на упругие характеристики сдвига и растяжения песков не однозначно. Скорость изменения (кривая 1) модуля растяжения имеет непостоянный характер по сравнению

со скоростью изменения модуля сдвига (кривая 2).

Коэффициент поперечного сжатия ν при изменении водонасыщения остается практически постоянным и равным 0,25.

Коэффициент Пуассона ν для песков в естественном состоянии водосодержания и водонасыщении до 30% определялся по формуле [2, 7]:

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$$

Сравнительный анализ динамики изменения упругих характеристик при водонасыщении на трех объектах месторождений р. Нагима, руч. Бешеный и руч. Болотистый показал, что в песках месторождения руч. Болотистый процесс изменения модуля упругости будет протекать менее интенсивно, чем в песках сравниваемых месторождений. Динамика изменения упругих характеристик песков месторождения руч. Болотистый по сравнению с месторождением р. Нагима при водонасыщении в среднем ниже в 6,6 раза, а по сравнению с песками месторождения руч. Бешеный – ниже в 2,9 раза [8].

Решение проблемы глубокой дезинтеграции песков исследуемого месторождения возможно путем совершенствования технологии и средств воздействия на пески. В настоящее время получили развитие резонансные, электротермические, акустические, теплофизические, оптические, гидродинамические эффекты разрушения минеральной составляющей, моделируемые с помощью автоэмиссии в сильных электрических полях мощных ускорителей, ультразвуковых, электроразрядных, электромагнитных (СВЧ), лазерных, вибрационных, гидродинамических воздействий. Исследование различных режимов взаимодействия лазерного излучения с горными породами и жидкостями позволили

выделить три механизма разрушения материалов: абляция сухих материалов; вскипание воды в поверхностном слое пористых материалов, пропитанных водой, и последующее взрывное расширение водяного пара, ведущее к эффективному разрушению материала; разрушение твердых материалов ударными волнами, формирующимися в образце при экранировании плазмы тонким слоем прозрачной для ИК излучения жидкости, нанесенной на поверхность образца [9]. Широкое развитие получили исследования с использованием импульсного магнитного поля и высоковольтного электрического разряда в жидкости. Исследовалась эффективность применения магнитно-импульсной обработки руд с целью их разупрочнения перед измельчением. Р.Ф. Ганиевым, Н.И. Кобаско, В.В. Куликом, Л.Е. Украинским и другими исследовались колебательные явления в многофазных средах. Рассмотрены нелинейные вибрационные эффекты в многофазных средах применительно к различным технологическим процессам: флотационному обогащению руд, дегазации, тепло-массообмена. Основополагающими остаются вопросы взаимодействия минеральной составляющей гидросмесей со средой измельчения [10]. Теоретические и экспериментальные исследования и сведения, полученные до сих пор, дают неполные представления о возникающих процессах кавитации, струйных и вихревых течениях в многокомпонентных средах при гидродинамических воздействиях, инициируемых различными источниками физического и механического влияния. Решение проблемы микродезинтеграции сложных песков исследуемого месторождения возможно путем совершенствования технологии и средств воздействия на пески в условиях резонансных явлений в пульпе. В ИГД ДВО РАН разработан способ дезин-

теграции минеральной составляющей гидросмеси в условиях резонансных акустических явлений в гидротоке и геотехнологический комплекс для его осуществления [11–13]. В комплексе формируются поля первичной гидродинамической и вторичной акустической кавитации. Мощные гидродинамические возмущения в виде импульсов сжатия и разряжения производят многокаскадные волны возмущений и вторичные акустические микропотоки. Отраженные вихри гидросмеси попадают на пластинчатые кавитационные элементы, которые распределены по контуру цилиндрической части верхнего корпуса реактора. Процесс резонансных акустических воздействий

на разуплотняемые высокоглинистые пески включает упругопластическую деформацию и разрушение с образованием новых поверхностей микрочастиц.

Способы дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси на основе генерирования гидроударных нагрузок и кавитационных импульсов, образованных колебаниями резонаторов, позволят обеспечить микродезинтеграцию сложных песков, снижение потерь ценного компонента – мелкого золота, уменьшат энергозатраты, улучшат эксплуатационные показатели по обслуживанию комплекса, повысят рентабельность производства и экологическую безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамаев Ю.А., Ван-Ван-Е А.П., Сорокин А.П. и др. Проблемы рационального освоения золотороссыпных месторождений Дальнего Востока (геология, добыча, переработка). – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 200 с.

2. Хрунина Н.П., Мамаев Ю.А., Пуляевский А.М., Стратечук О.В. Новые аспекты научных основ ультразвуковой дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей Приамурья. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. – 167 с.

3. Курторгин В.И. Оценка полноты использования запасов при отработке россыпных месторождений благородных металлов // Руды и металлы. – 2004. – № 1. – С. 43–50.

4. Замятин О.В., Кавчик Б.К. Расчет потерь золота с эфелями промывочных приборов по данным ситовых анализов // Золотодобыча. – 2008. – № 111.

5. Кавчик Б.К. Компьютерная программа расчета нормативных потерь золота с эфелями промывочных приборов // Золотодобыча. – 2009. – № 132.

6. Литвинцев В.С. Особенности вещественного состава и эксплуатации рудно-россыпного месторождения руч. Болотистый (Хабаровский край) // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 1. – С. 35–38.

7. Агранат Б.А., Башкиров В.И., Китайгородский Ю.И., Хавский Н.Н. Ультразвуковая технология. – М.: Металлургия, 1974. – 503 с.

8. Хрунина Н.П., Подшивалов В.С. Сравнительный анализ изменения физико-меха-

нических характеристик высокоглинистых песков золотоносных россыпей Приамурья при водонасыщении / Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы V Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, Россия, 02–04 октября 2013). – ИГД ДВО РАН, 2013. – 456 с.

9. О'Брайен Д., Грейвс Р., Зворыкин В.Д. и др. Взаимодействие излучения импульсных СО и СО₂-лазеров с горными породами, характерными для нефтяных месторождений. II. Газодинамические процессы при лазерно-индуцированной абляции и трансформация ИК-спектров поглощения и отражения горных пород // Физика и химия обработки материалов. – 2005. – № 1. – С. 47–55.

10. Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. и др. Основы физики и техники ультразвука. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с.

11. Хрунина Н.П. Патент 2506128 РФ, МПК В03В5/00. Способ дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси в условиях резонансных акустических явлений в гидротоке и геотехнологический комплекс для его осуществления, 2014.

12. Хрунина Н.П., Чебан А.Ю. Совершенствование процессов разработки высокоглинистых песков золотоносных россыпей // Системы, методы, технологии. – 2013. – № 3. – С. 167–170.

13. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Новые направления разработки высокоглинистых золотоносных месторождений // Горный журнал. – 2013. – № 10. – С. 50–52. **ГИАБ**

Хрунина Наталья Петровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: npetx@mail.ru,

Чебан Антон Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник,
e-mail: chebanay@mail.ru,

Институт горного дела ДВО РАН.

UDC 622.271.1; 622.236.73

THE RESULTS OF THE STUDY OF HIGHLY CLAYEY SANDS DEPOSITS OF PRECIOUS METALS IN THE FAR EASTERN REGION

Hrunina N.P.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
e-mail: npetx@mail.ru,

Cheban A.Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior,
e-mail: chebanay@mail.ru,

¹ Institute of Mining of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, Russia.

The results of the study of highly clayey sands ore-placer deposits stream Squishy Khabarovsk Krai. Identified the nature of changes of elastic characteristics of sands at water saturation. The sands of gold placer are complex enough to mikrodisintegration. To reduce the loss of valuable components the necessity of development of research processes, based on the sequential combination of additional hydrodynamic effects, generated by different types of resonators.

Key words: water saturation, phase analysis, the speed of ultrasound, impedance, mikrodisintegration.

REFERENCES

1. Mamaev Yu.A., Van-Van-E A.P., Sorokin A.P. *Problemy ratsional'nogo osvoeniya zolotorossypanykh mestorozhdenii Dal'nego Vostoka (geologiya, dobycha, pererabotka)* (Problems of sustainable development of gold-placer deposits in the Far East (geology, mining, processing)), Vladivostok, Dalnauka, 2002, 200 p.
2. Hrunina N.P., Mamaev Yu.A., Pulyaevskii A.M., Stratechuk O.V. *Novye aspekty nauchnykh osnov ul'trazvukovoi dezintegratsii vysokoglinistykh zolotosoderzhashchikh peskov rossypei Priamur'ya* (New aspects of scientific bases of ultrasonic disintegration of highly clayey sand gold placers of the Amur region), Khabarovsk, Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2011, 167 p.
3. Kutorgin V.I. *Rudy i metally*. 2004, no 1, pp. 43–50.
4. Zamyatin O.V., Kavchik B.K. *Zolotodobycha*. 2008, no 111.
5. Kavchik B.K. *Zolotodobycha*. 2009, no 132.
6. Litvintsev V.S. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*. 2011, no 1, pp. 35–38.
7. Agranat B.A., Bashkirov V.I., Kitaigorodskii Yu.I., Khavskii N.N. *Ul'trazvukovaya tekhnologiya* (Ultrasonic technology), Moscow, Metallurgiya, 1974, 503 p.
8. Hrunina N.P., Podshivalov V.S. *Problemy kompleksnogo osvoeniya georesurov: Materialy V Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh* (Khabarovsk, Rossiya, 02–04 oktyabrya 2013) (Problems of integrated development for georesources: Materials V All-Russian Scientific Conference with the participation of foreign researchers (Khabarovsk, Russia, 02–04 October 2013)), IGD DVO RAN, 2013, 456 p.
9. O'Braien D., Greivs R., Zvorykin V.D. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*. 2005, no 1, pp. 47–55.
10. Agranat B.A., Dubrovin M.N., Khavskii N.N. *Osnovy fiziki i tekhniki ul'trazvuka* (Fundamentals of physics and technology of ultrasound), Moscow, Vysshaya shkola, 1987, 352 p.
11. Hrunina N.P. *Patent 2506128 RF, MPK V03V5/00*, 2014.
12. Hrunina N.P., Cheban A.Yu. *Sistemy, metody, tekhnologii*. 2013, no 3, pp. 167–170.
13. Mamaev Yu.A., Hrunina N.P. *Gornyi zhurnal*. 2013, no 10, pp. 50–52.

