

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ РУД ЗОЛОТОНОСНОГО ПОЛИМИНЕРАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ

Н.П. Хрунина¹, А.Ю. Чебан¹

¹ Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия,
e-mail: npetx@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты анализа проблем, возникающих в процессе освоения комплексных месторождений рудно-россыпного типа, содержащих значительную долю ценных компонентов мелких фракций. Проанализированы подходы к решению проблем по извлечению тонких и мелких фракций. Для обеспечения технологической эффективности и экологической безопасности последствий, сопровождающих процессы переработки полиминерального месторождения, проведены исследования микроэлементного, фазового и гранулометрического состава пород. Установлен состав глинистых минералов, затрудняющих процесс выделения ценных компонентов, а также преобладающие по массе элементы стронция, циркония, лантана, церия, неодима и др. Выявленная совокупность минеральных компонентов обладает высокой токсичностью и активной миграционной способностью. Оксиды тяжелых металлов потенциально высоко реакционноспособны. Для решения проблемы разработана технология, сокращающая операции выщелачивания и активизирующая извлечение мелких и тонких частиц ценных компонентов преимущественно гравитационными методами на стадии подготовки и предобогащения. Комплекс средств предлагаемой технологии позволяет эффективно выделить ценные компоненты посредством гидродинамического и кавитационного воздействия на глинистую составляющую. Значительно сократятся потоки рассеивания и последующие геохимические аномалии, затраты на контроль остаточных концентраций сильных полиэлектролитов.

Ключевые слова: ценные компоненты, микроанализ, дисперсность, глинистость, гидродинамическая активация, кавитация.

Для цитирования: Хрунина Н. П., Чебан А. Ю. Совершенствование процесса переработки руд золотоносного полиминерального месторождения в Дальневосточном регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 5–13. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_5.

Improvement of processing of gold ore from a polymineral deposit in the Russian Far East

N.P. Khrunina¹, A.Y. Cheban¹

¹ Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia,
e-mail: npetx@mail.ru

Abstract: The analysis of the problems connected with development of complex ore pacers with high content of very fine-size useful components is presented. The approaches to extraction of fine and very fine fractions are discussed. With a view to ensuring ecological safety and efficiency of polymineral deposit mining, the microelements, phase composition and particle size distribution of rocks are studied. The content of clayey minerals which complicate recovery of valuable components is determined, and the elements of prevailing weight are identified: strontium, zirconium, lanthanum, cerium, neodymium, etc. The detected mineral components are highly toxic and highly mobile. Oxides of heavy metals feature high chemical reactivity. The technology developed to solve this problem minimizes leaching operations and activates recovery of fine and very fine valuable components mostly by gravity methods at the stages of pre-treatment. The proposed technology allows efficient recovery of valuable components by means of hydrodynamic and cavitation impact on clayey minerals. The leakage flux, the subsequent geochemical abnormalities and the cost of the residual concentration control in strong polymeric soap can be greatly reduced thereby.

Key words: valuable components, microanalysis, dispersiveness, clay content, hydrodynamic activation, cavitation.

For citation: Khrunina N. P., Cheban A. Y. Improvement of processing of gold ore from a polymineral deposit in the Russian Far East. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10):5-13. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_5.

Введение

Различия в формировании промышленно-генетических типов определяются многообразием геологических условий формирования золотоносных месторождений ДВ региона, которые особенным образом характеризуются содержанием основных и попутных компонентов с низкой степенью гипергенной устойчивости. Расширяется вовлечение в эксплуатацию новых видов комплексных месторождений рудно-россыпного типа, содержащих значительную долю ценных компонентов мелких фракций с низкой физико-механической и гидродинамической устойчивостью. Результатом этого являются экологические проблемы, связанные с образованием техногенных массивов — геологических тел техногенного происхождения, представленных вскрышными, вмещающими породами, отходами обогащения [1 — 10]. Наличие повышенных содержаний тяжелых элементов, образующих

при переработке горной массы высокотоксичные и высоко активные соединения, создает предпосылки к активизации геохимических техногенных потоков и связанных с ними химических загрязнений почв и различных водных объектов токсичными элементами. Требования по повышению полноты извлечения полезных ископаемых из недр и снижению экологической нагрузки на природную среду ставит перед исследователями важную комплексную задачу, решение которой позволит на стадии выемки и переработки горной массы разрушить минеральную составляющую с минимальным уровнем потерь ценных компонентов и снижением загрязнения окружающей среды. Значительную роль в решении этой проблемы может сыграть развитие эффективных и безопасных процессов, основанных на новых физических принципах воздействия на пески и их гидросмеси [11 — 14], а также — сокращение использования поли-

электролитных комплексов для разрушения глинистой составляющей и выделения минеральных компонентов в процессе выщелачивания.

В настоящее время требуется более детальное изучение золотоносных месторождений региона, в том числе исследование изменения состояния вмещающих пород при водонасыщении, играющем значительную роль в разрушении структурных связей между частицами и агрегатами при дезинтеграции и последующем выделении минеральных компонентов. Расширяется диапазон исследуемых объектов по изучению динамики изменения упругих характеристик при водонасыщении, которая может оказывать существенное влияние на эффективность процесса дезинтеграции. Характерным объектом является один из участков Фадеевского рудно-россыпного узла, глинистые отложения которого содержат химически активные элементы. Для прогнозирования процессов ресурсосбережения и снижения геохимического загрязнения при переработке высокоглинистых песков первостепенное значение приобретает исследование минерального состава глинистой составляющей.

Настоящая работа проведена с целью обосновать применение автоматизированных установок гравитационного предобогащения и классификации в массиве, дополнительной гидродинамической дезинтеграции глинистой составляющей посредством кавитации перед центробежным гравитационным обогащением для разрушения глинистой составляющей и обеспечения технологической эффективности и экологической безопасности.

Методы исследования

Методы исследования включали спектрометрический, рентгеноструктурный и энергодисперсионный микроанализ.

Изучены элементный, фазовый и гранулометрический состав пород для обоснования рекомендаций по разработке одного из участков Фадеевского рудно-россыпного узла, расположенного в юго-западной части Приморского края. Спектрометрический анализ выполнялся на рентгенофлуоресцентном анализаторе Mobilab X-50 (Innov-Systems Inc., США). Фазовый анализ проб изучался с помощью дифрактометра ДРОН-7, напряжение трубки – 40 кВ, ток накала – 20 мА, шаг сканирования по углу 2Theta – 0,05 град. Для идентификации линий рентгеновских спектров использовался программный пакет PDWin (НПП «Буревестник»). С помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JCM-6000 PLUS NEOSCOPE (JEOL, Япония) осуществлен энергодисперсионный микроанализ образцов пород. Гранулометрический анализ проб исследован стандартными методами.

Результаты и их обсуждение

Спектрометрический анализ показал преобладание по массе соединений Fe (6,2%), К (~2%), Са (1,2%), Ti (0,5%), Ва, Zr, Cr, Sr, Cu, Zn, Rb, W. Энергодисперсионным анализом установлено присутствие микроэлементов широкого спектра благородных, в том числе золота Au, серебра Ag, платины Pt, редкоземельных и других тяжелых элементов: Се, La, Os, Eu, Gd, Nd, Sm, Tb, In, Dy, Th, Tb, Dy, Gd, In, Fe, Ca, K, P, Si, Al, Mg, Hg, O, С, рис. 1. Преобладающими по массе являются элементы: фосфор, лантан, церий, неодим и др. В изоморфной примеси к цирконию могут находиться иттрий, тяжелые лантаноиды и др. Потенциальные возможности изоморфных примесей как источника многих химических элементов чрезвычайно велики.

В пробах исследуемого участка месторождения рентгеноструктурным анализом установлены минералы:

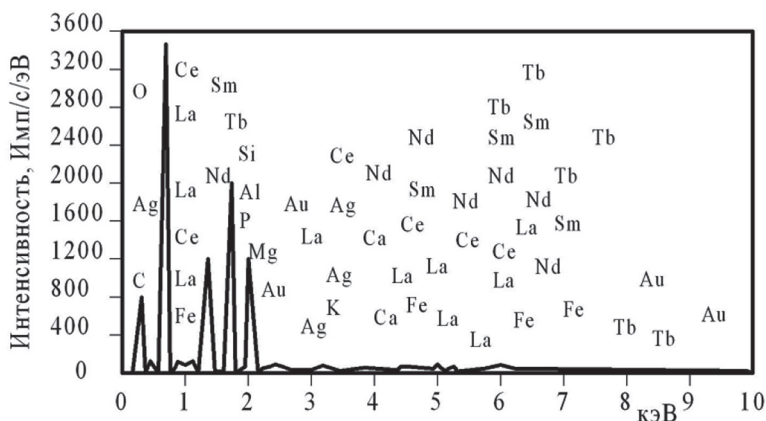


Рис. 1. Спектрограмма микроэлементов исследуемого образца
 Fig. 1. Spectrogram of microelements in test sample

альбит (albite);
 кальциан (calcian)
 $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$;
 мусковит (muscovite)
 $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$;
 кварц (quartz) SiO_2 ;
 яacobсит (jacobsite)
 $\text{Mn}_{0.98}\text{Mg}_{0.006}\text{Fe}_{2.009}\text{O}_4$;
 нонтронит (nontronite)
 $\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$;
 герасимовскит (gerasimovskite)
 $(\text{Mn,Ca})(\text{Nb,Ti})_5\text{O}_{12} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$;
 кияншанит (qilianshanite)
 $\text{NaH}_4(\text{BO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
 тажеранит (tazheranite) $(\text{Zr,Ca,Ti})\text{O}_2$.

Нонтронит (nontronite) — минерал из группы монтмориллонита. Большая часть глинистых минералов обладает высокой миграционной способностью, особенно — мусковит. Мусковит содержит в примесях Mn, Cr, Ba, Fe, Mg. Кроме глинистых минералов присутствует также альмандин, который в примесях содержит K_2O , Na_2O , P_2O_5 , V_2O_5 , ZrO_2 , BeO и др. Гранулометрический анализ проб показал существенное преобладание фракций — 0,5 мм.

В процессе переработки минеральная составляющая песков частично измельчается, разрушается, освобождается от глинистых частиц. Резко изменя-

ется форма и структурные связи пород разного гранулометрического состава вследствие дробления, истирания, промывания. При этом суммарная поверхность минералов с низкой степенью гипергенной устойчивости резко увеличивается, возрастает их поверхностная активность. Повышение полноты извлечения минералов, в том числе с токсичными элементами, а также низкой степенью физико-механической, химической и гидроаэродинамической устойчивостью, ведет к снижению техногенного загрязнения территории.

Анализ технологических возможностей золотодобывающих предприятий показал, что применяемые технические средства не обеспечивают эффективную дезинтеграцию и экологическую безопасность при переработке высокоглинистых песков для извлечения частиц золота и других ценных компонентов мелких и тонких классов. Известная технология на основе физикохимической подготовки глинистых металлоносных песков россыпных месторождений обеспечивает активизацию дезинтеграции, но является экологически небезопасной, так как включает реагентное разрушение глинистого цемента песков при механическом, гидравлическом рыхле-

нии и фильтрационно-дренажном увлажнении. Технология включает также механическое и гидравлическое разрушение цементированных глиной песков при обработке их реагентными добавками, классификацию и грохочение, физико-химическую обработку взвешенных массопотоков растворами реагентов, физико-химическую агрегацию минеральных частиц и гравитационное осаждение флокул в технологической воде, предварительное сгущение и обезвоживание пульп, складирование хлопьев в выработанное пространство и отстойники [15]. Развитие процесса дезинтеграции гидродинамическими и другими физическими методами позволит исключить операцию реагентного разупрочнения глинистых металлоносных песков, сведет к минимуму процессы выщелачивания в массиве, тем самым

сократит дополнительную нагрузку на окружающую среду.

Предлагаемая схема переработки

Схема переработки руд золотоносного полиминерального месторождения включает гравитационное предобогащение и классификацию в массиве посредством модульной передвижной автоматизированной установки эстакадного типа [16], совмещающей два процесса — дезинтеграцию и классификацию — с разделением на фракции +0,5 мм и -0,5 мм, рис. 2. Фракция размером +0,5 мм проходит гравитационное обогащение на многоуровневых автоматизированных установках, перемещение на концентрационных столах и специальную обогатительных агрегатах с кавитационным инициированием, гравитационно-флотационную доводку вы-



Рис. 2. Принципиальная схема предобогащения минерального сырья

Fig. 2. Mineral pre-treatment flow chart

деленной после кавитационной активации фракции $-0,1$ мм, электромагнитную сепарацию с разделением на магнитную и немагнитную фракции и электросепарацию с выделением проводников и непроводников. Фракция $-0,5$ мм перед обогащением в центробежных концентраторах проходит стадию дезинтеграции посредством гидродинамической кавитации на установках нового типа. После центробежных концентраторов происходит перемешивание на концентрационных столах, электромагнитная сепарация и металлургическая переработка, рис. 2. Применение на стадии периодической дезинтеграции модульного передвижного геотехнологического комплекса эстакадного типа [16] позволит эффективно выделить мелкие и тонкие частицы ценных компонентов из глинистой массы гидросмеси, рис. 3.

С поступлением породы в зону дезинтеграции комплекса (рис. 3) посредством датчиков автоматической системы управления фиксируется физико-механическое состояние породы и степень дезинтегрированности. Программным устройством автоматической системы управления задается порядок и схема

работы механических дезинтеграторов. После установления физических характеристик критических зон с повышенной концентрацией породы задаются параметры позиционирования и рабочей скорости вращения механического дезинтегратора.

Для решения проблемы эффективно разрушения высокоглинистых песков могут быть использованы системы на основе развития гидроакустических эффектов или гидродинамических, например, таких как гидродинамические кавитаторы с низкой емкостью потребления энергии.

Процесс глубокой дезинтеграции минеральной составляющей на первичной стадии переработки с исключением растворов реагентных добавок и полного поступления гидросмеси на последующие стадии переработки позволяет избежать потери ценных компонентов, снизить объемы потребления воды и значительно сократить геохимические потоки рассеивания и последующие геохимические аномалии в водотоках. Предлагаемая технология существенно повысит извлечение мелких и тонких фракций ценных и попутных компонен-

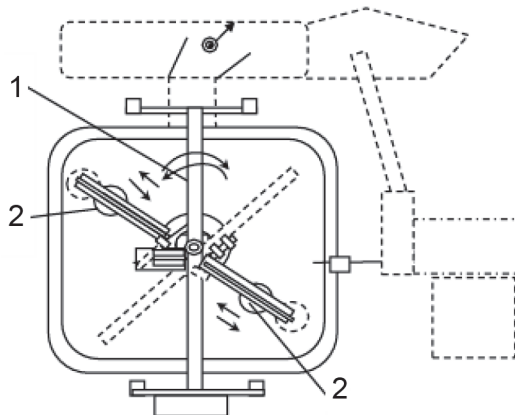


Рис. 3. Геотехнологический комплекс для разработки высокоглинистого полиминерального месторождения: 1 — передвижная эстакада; 2 — гидродинамический дезинтегратор

Fig. 3. Geotechnical equipment for development of polymineral deposit with high content of clay: 1 — movable dolly way; 2 — hydrodynamic disintegrator

тов, снизит поступление техногенных потоков и токсичность выбросов.

Заключение

Для обеспечения технологической эффективности и экологической безопасности последствий, сопровождающих процессы переработки полиминерального месторождения, проанализированы результаты исследования микроэлементного, фазового и гранулометрического состава пород. Установлены преобладающие по массе элементы, а также глинистые минералы, затрудняющие процесс выделения ценных компонентов. Для решения проблемы предложена технология, сокращающая операции дополнительного физико-химического воздействия на глинистую породу. Экономическая эффективность по показателю получения товарной продукции повы-

сится, при этом годовой приведенный экономический эффект увеличится в 3–5 раз благодаря экономии электроэнергии, улучшению технологических возможностей и повышению производительности за счет увеличения объемов перерабатываемого песка.

За счет применения новых подходов к процессу дезинтеграции высокоглинистых песков с использованием кавитационных установок для микродезинтеграции глинистой составляющей, автоматизации большинства установок и геотехнологического комплекса, предлагаемая технология позволит повысить производительность переработки высокоглинистых песков полиминеральных месторождений, снизить потери ценных компонентов, геохимические техногенные потоки и исключить аномальные ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Неронский Г. И., Бородавкин С. И. Метод оценки содержания золота в россыпях с доминирующими мелкими и тонкими его выделениями // Золотодобыча. — 2012. — № 158.

3. Крупская Л. Т., Мамаев Ю. А., Хрунина Н. П., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П. Экологические основы рационального землепользования при освоении россыпных месторождений Дальнего Востока. — Владивосток; Хабаровск, 1997. — 76 с.

4. Александрова Т. Н., Липина Л. Н., Крупская Л. Т. Оценка влияния природно-горно-технических систем при рудной золотодобыче на окружающую среду // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 6. — С. 286–292.

5. Хрунина Н. П., Мамаев Ю. А., Стратечук О. В., Хрунин Т. О. Патент РФ № 2187373 от 20.08.2002. Многоуровневая установка для извлечения ценных минералов. Заявка № 2001102769 от 30.01.2001.

6. Jiaping Wu, Junyu He, Christakos George Quantitative Analysis and Modeling of Earth and Environmental Data. Elsevier, 2020. 420 p.

7. Рукович А. В., Рочев В. Ф. Дезинтеграция мерзлых глинистых пород под воздействием химических полей и водной среды // Успехи современного естествознания. — 2017. — № 5. — С. 123–127.

8. Atici U., Comakli R. Evaluation of the physico-mechanical properties of plutonic rocks based on texture coefficient by // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2019, vol. 119, no. 1, pp. 63–69.

9. Jianhua Chen, Zhenghe Xu, Ye Chen Electronic structure and surfaces of sulphide minerals. Elsevier, 2020, 418 p.

10. *Laplante A. R.* A standardized test to determine gravity recoverable gold. Available at: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [accessed 16.06.2021].

11. *Скварцов Л. С., Варшавский В. Я., Дубровин А. В., Сердюк Б. П.* Кавитационный генератор для селективной дезинтеграции минерального сырья / V конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. Т. 2. — М.: Альтекс, 2005. — С. 19—21.

12. *Рочев В. Ф.* Исследование механизма и разработка методов интенсификации процесса разрушения мерзлых песчано-глинистых пород в водной среде. Автореф. дис... канд. техн. наук. — Нерюнгри: Технический институт Якутского гос. ун-та, 2002.

13. *Маньков В. М., Сержанин П. В.* Разработка и испытание способа и аппарата для эффективной дезинтеграции и классификации валунистых глинистых руд и песков // Золотодобыча. — 2019. — № 11(240). — С. 18—20.

14. *Ларионов В. Р., Федоров Ф. М., Матвеев А. И., Нечаев П. Б., Ларионов А. С.* Технология раздельного обогащения глубоко погребенных россыпей золота реки Б. Куранах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 184—189.

15. *Мязин В. П., Шестернев Д. М., Шуმიлова Л. В.* Создание новых ресурсосберегающих технологий извлечения золота из упорного и труднообогатимого минерального сырья техногенных глинистых месторождений // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2018. — Т. 5. — № 2. — С. 103—107.

16. *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. — 2009. — № 7. — С. 187—191. **МИАБ**

REFERENCES

1. Mirzekhanov G. S., Litvincev V. S. The state and problems of the development of man-made deposits of precious metals in the Far East region. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 10, pp. 25—30. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04.

2. Neronsky G. I., Borodavkin S. I. Method of assessing the contents of gold in scatterings with its dominant small and thin secretions. *Zolotodobycha*. 2012, no. 158. [In Russ].

3. Krupskaya L. T., Mamaev Yu. A., Khrunina N. P., Litvintsev V. S., Ponomarchuk G. P. *Ekologicheskie osnovy ratsional'nogo zemlepol'zovaniya pri osvoenii rossypnykh mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka* [Environmental foundations of rational land use in the development of the deposits of the Far East], Vladivostok; Khabarovsk, 1997, 76 p.

4. Aleksandrova T. N., Lipina L. N., Krupskaja L. T. Assessment of the impact of natural mining systems in mining environmental gold Wednesday. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010, no. 6, pp. 286—292. [In Russ].

5. Khrunina N. P., Mamaev Yu. A., Stratechuk O. V., Khrunin T. O. *Patent RU 2187373*. 20.08.2002. [In Russ].

6. Jiaping Wu, Junyu He, Christakos George *Quantitative Analysis and Modeling of Earth and Environmental Data*. Elsevier, 2020. 420 p.

7. Rukovich A. V., Rochev V. F. Disintegration of frozen clay rocks under the influence of chemical fields and the aquatic environment. *Advances in current natural sciences*. 2017, no. 5, pp. 123—127. [In Russ].

8. Atici U., Comakli R. Evaluation of the physico-mechanical properties of plutonic rocks based on texture coefficient by. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2019, vol. 119, no. 1, pp. 63—69.

9. Jianhua Chen, Zhenghe Xu, Ye Chen *Electronic structure and surfaces of sulphide minerals*. Elsevier, 2020, 418 p.

10. Laplante A. R. *A standardized test to determine gravity recoverable gold*. Available at: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [accessed 16.06.2021].

11. Skvarcov L. S., Varshavskiy V. Ya., Dubrovin A. V., Serdyuk B. P. Cavitation generator for selective disintegration of minerals. *V kongress obogatiteley stran SNG: sbornik materialov* [V kongress obogatiteley stran SNG: sbornik materialov], vol. 2, Moscow, Al'teks, 2005, pp. 19–21. [In Russ].

12. Rochev V. F. *Issledovanie mekhanizma i razrabotka metodov intensivifikatsii protsessa razrusheniya merzlykh peschano-glinistyykh porod v vodnoy srede* [The research of the mechanism and the development of methods to intensify the process of destruction of frozen sand and clay rocks in aquatic environment], Candidate's thesis, Neryungri, 2002.

13. Mankov V. M., Serzhanin P. V. Development and testing of the method and apparatus for effective disintegration and classification of bouldered clay ores and sands. *Zolotodobycha*. 2019, no. 11(240), pp. 18–20. [In Russ].

14. Larionov V. R., Fedorov F. M., Matveev A. I., Nechaev P. B., Larionov A. S. Technology of separate enrichment of deeply buried scatterings of gold of the river B. Kuranakh. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no. 8, pp. 184–189. [In Russ].

15. Myazin V. P., Shesternev D. M., Shumilova L. V. Creating a new resource-saving technologies of gold extraction from hard and it is difficult to retrieve minerals man-made clay deposits. *Mining sciences: fundamental and applied issues*. 2018, vol. 5, no. 2, pp. 103–107. [In Russ].

16. Mamaev Yu. A., Khrunina N. P. Determining the optimal initial parameters of sound impact on the pulp in the zoomf-accumulator during the open development of highglinous scatterings. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. 7, pp. 187–191. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хрунина Наталья Петровна¹ — канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: npetx@mail.ru,

Чебан Антон Юрьевич¹ — канд. техн. наук, доцент,
ведущий научный сотрудник, e-mail: chebanay@mail.ru,

¹ Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия.

Для контактов: Хрунина Н.П., e-mail: npetx@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

N.P. Khrunina¹, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher,
e-mail: npetx@mail.ru,

A.Y. Cheban¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Leading Researcher, e-mail: chebanay@mail.ru,

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

Corresponding author: N.P. Khrunina, e-mail: npetx@mail.ru.

Получена редакцией 06.07.2021; получена после рецензии 21.07.2021; принята к печати 10.09.2021.

Received by the editors 06.07.2021; received after the review 21.07.2021; accepted for printing 10.09.2021.

