

Снижение геохимических техногенных потоков при разработке полиминерального месторождения Дальневосточного региона

© 2022. Н. П. Хрунина, к. т. н., в. н. с.,

А. Ю. Чебан, к. т. н., в. н. с.,

Институт горного дела Дальневосточного отделения

Российской академии наук,

680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51,

e-mail: npetx@mail.ru

Оксиды тяжёлых металлов потенциально высоко реакционноспособны и приводят к прямому повреждению ДНК, цитотоксичны, снижают жизнеспособность клеток организма. Для обеспечения экологической безопасности последствий, сопровождающих процессы переработки золотоносных песков месторождения, проведены исследования микроэлементного, фазового и гранулометрического состава пород. Установлены преобладающие по массе элементы: фосфор, лантан, церий, неодим, барий, цирконий, хром, стронций, а также глинистые минералы, затрудняющие процесс выделения ценных компонентов. Выявленная совокупность минеральных компонентов обладает высокой миграционной способностью и токсичностью.

Разработана технология, сокращающая операции выщелачивания и гидрометаллургической переработки. Комплекс средств позволяет эффективно выделить ценные компоненты посредством гидродинамического и кавитационного воздействия на глинистую составляющую. В результате реализации технологии значительно сократятся потоки рассеивания и последующие геохимические аномалии, затраты на контроль остаточных концентраций сильных полиэлектролитов и систематическую токсикологическую оценку. Разработанная технология включает новые установки, обеспечивающие разрушение глинистой составляющей посредством ультразвукового и кавитационного воздействия, гидроакустических эффектов или гидродинамических, например, с помощью таких установок, как гидродинамические кавитаторы с низкой ёмкостью потребления энергии, на минеральную составляющую гидросмеси с исключением реагентного разупрочнения.

Ключевые слова: токсичность, микроанализ, дисперсность, гидродинамическая активация, кавитация.

Reduction of technogenic geochemical fluxes during the operation of a polymineral deposit in the Far Eastern Region

© 2022. N. P. Khrunina ORCID: 0000-0001-8117-0922[†]

A. Yu. Cheban ORCID: 0000-0003-2707-626X[†]

Mining Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,

51, Turgeneva St., Khabarovsk, Russia, 680000,

e-mail: npetx@mail.ru

Heavy metal oxides are potentially highly reactionary capable and cytotoxic. They cause direct DNA damage and decrease viability of the cells of a living organism. To ensure environmental safety impacts that accompany processing gold-bearing sands deposits, studies of microelement, phase and grain-size composition of rocks have been carried out. There are established elements prevailing by mass: phosphorus, lanthanum, cerium, neodymium, barium, zirconium, chromium, strontium, as well as clay minerals, complicating the process of selecting valuable components. The revealed combination of mineral components has a high migration ability and toxicity.

It is developed the technology reducing operations of leaching and hydrometallurgical processing. The complex of tools allows you to effectively select valuable components by hydrodynamic and cavitation impact on the clay component. As a result of the implementation of the technology, dispersion fluxes and subsequent geochemical anomalies, the costs of monitoring residual concentrations of strong polyelectrolytes and systematic toxicological assessment will be significantly reduced. The developed technology includes new installations that ensure the destruction of the clay component through ultrasonic and cavitation, hydroacoustic or hydrodynamic effects.

Keywords: toxicity, dispersibility, microanalysis, hydrodynamic activation, cavitation.

В связи с многообразием геологических условий формирования золотоносных месторождений Дальневосточного (ДВ) региона выделяются различные промышленно-генетические типы, характеризующиеся не только особенностями строения, но и содержанием основных и попутных компонентов с низкой степенью гипергенной устойчивости. В настоящее время в эксплуатацию вовлекаются новые типы комплексных месторождений рудно-россыпного типа, содержащие 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. При существующих в настоящее время методиках извлечения попутных элементов значительная часть этих элементов уходит в отвалы, удаляется с промышленными стоками. Будучи освобождёнными из кристаллических решёток, изоморфные примеси начинают самостоятельную миграцию в биосфере. Поэтому в районах обогатительных фабрик почва, вода, растения имеют повышенные концентрации многих элементов, не извлекаемых из руд [1–8]. Наличие повышенных содержаний тяжёлых элементов, образующих при переработке горной массы высокотоксичные и высоко активные соединения, создаёт предпосылки к активизации геохимических техногенных потоков и связанному с ними химическому загрязнению почвы и различных водных объектов токсичными элементами. В соответствии с проведёнными исследованиями [9–11] была установлена связь между уровнем тяжёлых металлов (ТМ) в организме человека и частотой возникновения различных заболеваний, в том числе анемии. Также установлено, что оксиды ТМ потенциально высоко реакционноспособны и приводят к прямому повреждению ДНК, цитотоксичны, снижают жизнеспособность клеток организма. Всё это может быть обусловлено не только аномальностью природных зон, но и общей экологической обстановкой в районах добычи полезных ископаемых, спровоцированной геохимическими техногенными потоками.

Требования по повышению полноты извлечения полезных ископаемых из недр и снижению экологической нагрузки на природную среду ставит перед исследователями важную комплексную задачу, решение которой позво-

лит на стадии выемки и переработки горной массы осуществить разрушение минеральной составляющей 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 [12–14], а также – сокращение использования полиэлектролитных 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.

Целью настоящей работы является обеспечение экологической безопасности переработки песков комплексного полиминерального месторождения посредством совершенствования процесса дезинтеграции на основе физико-механического комплексного воздействия и сокращения операций обогащения с использованием полиэлектролитов для снижения геохимических техногенных потоков.

Методы исследования

Методы исследования включали спектротрический, рентгеноструктурный и энергодисперсионный микроанализ. Изучали элементный, фазовый и гранулометрический состав пород для обоснования рекомендаций по разработке одного из участков Фадеевского рудно-россыпного узла, расположенного

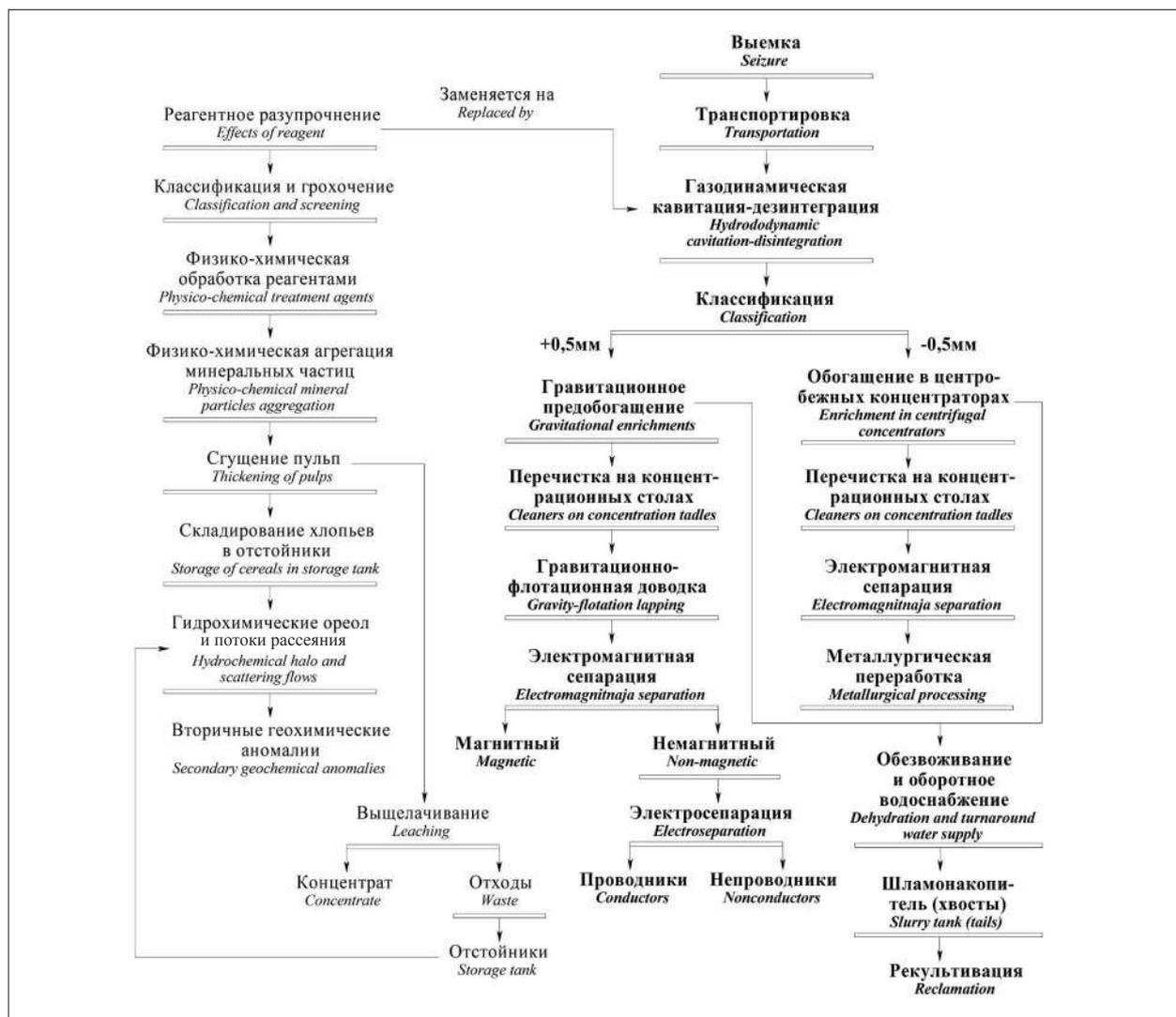


Рис. 3. Технологическая схема добычи и переработки минерального сырья. Традиционная технологическая схема включает выемку, транспортировку и далее по схеме последовательность операций, изображённая тонкими линиями
Fig. 3. Technological scheme of mineral extraction and processing. The traditional technological scheme includes notching, transporting and further along the pattern of the sequence of operations, depicted by thin lines

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 физико-химической подготовки глинистых металлоносных песков россыпных месторождений обеспечивает активизацию дезинтеграции, но является экологически небезопасной, так как включает реагентное разупрочнение глинистого цемента песков при механическом, гидравлическом рыхлении 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, сведёт к минимуму процессы выщелачивания в массиве, тем самым сократит дополнительную нагрузку на окружающую среду.

Предлагаемая схема разработки. Схема разработки по извлечению тонких и мелких

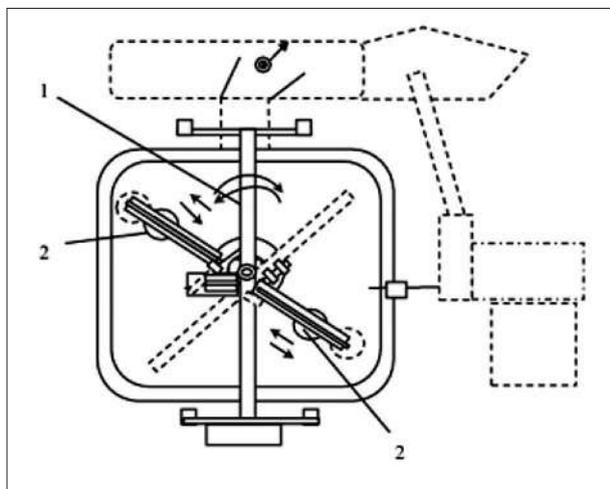


Рис. 4. Геотехнологический комплекс для разработки высокоглинистого полиминерального месторождения: 1 – передвижная эстакада; 2 – гидродинамический дезинтегратор

Fig. 4. Geotechnological complex for the exploitation of highly clay polymineral deposit: 1 – mobile rack; 2 – hydrodynamic disintegrator

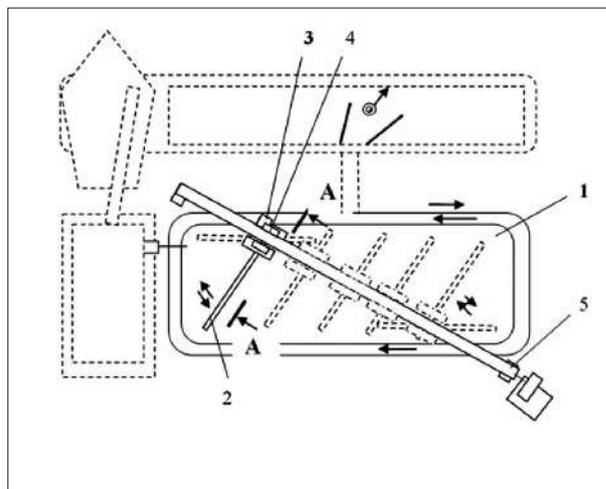


Рис. 5. Геотехнологический комплекс для разработки высокоглинистого полиминерального месторождения: 1 – модуль дезинтеграции; 2 – модуль ультразвукового излучения; 3 – подвижная каретка; 4 – привод перемещения каретки; 5 – поперечина эстакады

Fig. 5. Geotechnological complex for the exploitation of highly clay polymineral deposit: 1 – disintegration module; 2 – module of ultrasonic radiation; 3 – moving carriages; 4 – carriage movement drive; 5 – crossoverpass

частиц ценных компонентов включает процессы выемки, транспортировки, грохочения, периодической гидродинамической и ультразвуковой дезинтеграции, классификации с разделением на фракции +0,5 мм и -0,5 мм. Фракция размером +0,5 мм проходит гравитационное предобогащение, перечистку на концентрационных столах или специальных обогатительных агрегатах с кавитационным инициированием, гравитационно-флотационную доводку, электромагнитную сепарацию с разделением на магнитную и немагнитную фракции, электросепарацию с выделением проводников и непроводников. Фракция -0,5 мм проходит обогащение в центробежных концентраторах, перечистку на концентрационных столах, электромагнитную сепарацию и металлургическую переработку (рис. 3, 4). Предлагаемая технологическая линия на схеме на рисунке 3 выделена справа, а исключаемая из производственного цикла линия изображена слева. Выемку глинистых золотосодержащих песков и их транспортировку на обогащение можно производить колесными скреперами, оборудованными интенсификатором загрузки в виде подгребающей стенки, перемещающейся внутри ковша [16]. Скреперы с традиционными интенсификаторами в виде скребковых и шнековых элеваторов на глинистых песках оказываются малоэффективными, поскольку на элеваторы происходит

интенсивное налипание глины. Применение на стадии периодической дезинтеграции модульного передвижного геотехнологического комплекса эстакадного типа [17] позволит осуществить эффективное разделение мелких и тонких частиц ценных компонентов, выделяя их из глинистой массы гидросмеси (рис. 4).

Комплекс снабжён жёстко закреплённой на опорах эстакадой 1 и модулем дезинтеграции с периодическим гидродинамическим воздействием. Гидродинамические дезинтеграторы 2 снабжены рыхлителями (рис. 4). Для решения проблемы эффективного разрушения высокоглинистых песков могут быть использованы системы на основе развития гидроакустических эффектов [18] или гидродинамических, например, таких как гидродинамические кавитаторы с низкой ёмкостью потребления энергии, разработанные в лаборатории разработки россыпных месторождений ИГД ДВО РАН [19] или системы с ультразвуковым излучением (рис. 5) [17]. Модуль дезинтеграции 1 снабжён модулем ультразвукового излучения 2 (рис. 5). Подвижная каретка 3 снабжена приводом 4 перемещения её вдоль поперечины эстакады 5 и приводом поворота модуля ультразвукового излучения 2 вокруг оси (рис. 5).

Модуль ультразвукового излучения снабжён приводами перемещения системы ультразвуковых излучателей в вертикальной

плоскости и двухсторонним приводом перемещения системы ультразвуковых излучателей в горизонтальной плоскости. Для определения параметров ультразвукового воздействия на гидросмесь, минеральная составляющая которой представляет собой исследованные пески, задаются двумя исходными минимальным и максимальным соотношениями масс минеральной составляющей и воды. Полученные расчётом интервалы интенсивности ультразвука для дезинтеграции твёрдой составляющей гидросмесей исследуемых песков находятся в пределах от 1,8 до 2,6 Вт/см² при содержании воды от 70 до 40%. При содержании воды от 30 до 25% интенсивность ультразвука должна составлять от не менее 5,0 Вт/см². Могут также применяться кавитационные реакторы [20].

Процесс глубокой дезинтеграции минеральной составляющей на первичной стадии переработки с исключением растворов реагентных добавок и полного поступления гидросмеси на последующие стадии переработки позволяет исключить потери ценных компонентов, снизить объёмы потребления воды и значительно сократить геохимические потоки рассеивания и последующие геохимические аномалии в водотоках. Расход оборотной и повторно используемой воды на 1 м³ добытых горных пород в предлагаемом варианте комбинированной кавитационно-гидродинамической дезинтеграции составит 14 м³, а при реагентном разупрочнении с обширным использованием выщелачивания составит в 2–3 раза больше. Таким образом, предлагаемая технология существенно снизит поступление техногенных потоков, проходящихся на 1 м³ добытых горных пород. Снижение токсичности выбросов позволит снизить уровень негативного воздействия на окружающую среду, исключить аномальные ситуации и благотворно скажется на здоровье населения, проживающего в районах, близких к участкам разработки полезных ископаемых.

Заключение

Для обеспечения экологической безопасности при переработке песков комплексного полиминерального месторождения Приморского края проанализированы результаты исследования микроэлементного, фазового и гранулометрического состава пород. Установлены преобладающие по массе элементы: фосфор, лантан, церий, неодим, барий, цирконий, хром, стронций, медь, цинк, рубидий и вольфрам, а также глинистые минералы,

затрудняющие процесс выделения ценных компонентов. Выявленная совокупность минеральных компонентов обладает высокой миграционной способностью и токсичностью. Для решения проблемы разработана технология, сокращающая операции выщелачивания и гидрометаллургической переработки. Разработанная технология включает новые установки, обеспечивающие разрушение глинистой составляющей посредством ультразвукового и кавитационного воздействия, гидроакустических эффектов или гидродинамических, например, с помощью таких установок, как гидродинамические кавитаторы с низкой ёмкостью потребления энергии, на минеральную составляющую гидросмеси с исключением реагентного разупрочнения.

За счёт применения новых подходов к процессу дезинтеграции высокоглинистых песков с использованием геотехнологического комплекса, сочетающего гидродинамическое и ультразвуковое воздействия, новая технология позволит снизить потери ценных компонентов, геохимические техногенные потоки и исключить аномальные ситуации. Значительно сократятся площади для складирования токсичных отходов и размещения отстойников, снизятся затраты на контроль остаточных концентраций сильных полиэлектролитов – кислот и систематическую токсикологическую оценку.

References

1. Aleksandrova T.N., Lipina L.N., Krupskaya L.T. Assessment of the impact of natural mining systems in mining environmental gold Wednesday // Gorny informacionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). 2010. No. 6. P. 286–292 (in Russian).
2. Mjazin 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 // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk. Novosibirsk: Institut gornogo dela im. N.A. Chinakala SO RAN, 2018. V. 5. No. 2. P. 103–107 (in Russian).
3. Kostenko O.V., Popov M.A., Lutovac M. "Smart" state regulation in the field of environmental protection and natural resources management // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 1. P. 116–121 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-116-121
4. Ryabova E.G. Contents of heavy metals in urban ponds // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 1. P. 36–40. doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-036-040
5. Laarmann D., Korjus H., Sims A., Kangur A., Kiviste A., Stanturf J.A. Evaluation of afforestation develop-

ment and natural colonization on a reclaimed mine site // *Restoration Ecology*. 2015. V. 23. No. 3. P. 301–309. doi: 10.1111/rec.12187

6. Ngugi M.R., Neldner V.J., Doley D., Kusy B., Moore D., Richter C. Soil moisture dynamics and restoration of self-sustaining native vegetation ecosystem on an open-cut coal mine // *Restoration Ecology*. 2015. V. 23. No. 5. P. 615–624. doi: 10.1111/rec.12221

7. Naeth M.A., Wilkinson S.R. Establishment of restoration trajectories for upland tundra communities on diamond mine wastes in the Canadian Arctic // *Restoration Ecology*. 2014. V. 22. No. 4. P. 534–543. doi: 10.1111/rec.12106

8. Sena K., Barton C., Hall S., Angel P., Agouridis C., Warner R. Influence of spoil type on afforestation success and natural vegetative recolonization on a surface coal mine in Appalachia United States // *Restoration Ecology*. 2015. V. 23. No. 2. P. 131–138. doi: 10.1111/rec.12164

9. Savchenko O.V. The influence of pollution of heavy metals on wednesday the health of preschool children // *Ekologiya cheloveka*. 2018. No. 3. P. 16–20 (in Russian).

10. Zemlyanova M.A., Tiunova A.I., Stepankov M.S., Ivanova A.S. The potential health risks of nano cobalt oxide // *Ekologiya cheloveka*. 2018. No. 1. P. 36–40 (in Russian).

11. Statistics on the State of and trends in health of Primorsky Krai [Internet resource] <https://www.primorsky.ru> (Accessed: 24.04.2019) (in Russian).

12. Elshin V.V., Melnyk S.A. Current state and prospects of development of technology of desorption of gold from the saturated activated carbons // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2014. No. 9–10. P. 114–118.

13. Joe Z., Bruce J., Chris M. Establishing the process mineralogy of gold ores // *Technical Bulletin*. 2004. No. 14. P. 1–5.

14. Dai Z.-J., Kuang Z.-B., Zhao S.-X. Reflection and transmission of elastic waves from the interface of a fluid-saturated porous solid and a double porosity solid // *Transport in Porous Media*. 2006. V. 65. P. 237–264. doi: 10.1007/s11242-005-6084-5

15. Myazin V.P. Improving the efficiency of processing clay gold-bearing sands. Ch. 2. Chita: ChitGTU, 1996. 119 p. (in Russian).

16. Cheban A.Yu., Khrunina N.P. Intensification of open mining operations with a small distance of transportation of rock mass // *International Journal of Engineering Research in Africa*. 2018. V. 38. P. 100–114. doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.38.100

17. Khrunina N.P., Mamaev Yu.A., Litvincev V.S., Sekisov G.V. Geotechnological complex for the development of gold placers // Patent RU 2325533 C1. Application: 2006146393/03, 25.12.2006. Date of publication: 27.05.2008. Bull. No. 15 (in Russian).

18. Khrunina N.P., Cheban A.Yu. Improving micro-disintegration processes of sands of an integrated deposit of precious metals with high strength characteristics // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2017. V. 58. No. 4. P. 330–334.

19. Khrunina N.P., Prohorov K.V. Process improvement of processing ores zoloto silver integrated deposits of precious metals // *Izvestiya Vuzov. Non-ferrous metallurgy*. 2019. No. 2. P. 4–12 (in Russian).

20. Khrunina N.P. Way to the disintegration of the mineral components of hydraulic fluid in terms of resonance acoustic phenomena in gidro-thread and geotechnologically complex for its implementation // Patent RU 2506128C1. Application: 2012140887/03, 24.09.2012. Date of publication: 10.02.2014. Bull. No. 4 (in Russian).