

ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЕКТИВНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И.Ю. Рассказов¹, А.Г. Секисов¹, А.В. Рассказова¹, А.А. Соболев¹

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия,
e-mail: rasskazov@igd.khv.ru

Аннотация: Приведены данные теоретических и экспериментальных исследований, связанных с поиском решения актуальной геотехнологической проблемы — вовлечения в переработку некондиционных медно-порфировых руд, содержащих дисперсное золото. Обоснована технологическая схема стадийного кучного выщелачивания золота и меди из некондиционных руд зоны окисления Малмыжского медно-порфирового месторождения. Приведены результаты экспериментов по опережающему активационному выщелачиванию золота из крупнофракционной руды и формируемой при ее дроблении шламообразующей фракции хлоридно-гипохлоритными растворами, доказывающие возможность его рентабельного извлечения. Последующее выщелачивание меди осуществляется серноокислотно-пероксидными и оборотными серноокислотными растворами по завершению выщелачивания золота. Оборотные серноокислотные растворы доукрепляются сульфатами, формируемыми при окислении серы аксессуарных сульфидных минералов в составе дополнительно укладываемого в основном штабеле слоя первичной руды, и естественным окислителем — 3-х валентным железом, формируемым за счет доокисления железа в составе соответствующих окисных, гидроокисных и остаточных сульфидных минералов. При использовании предлагаемой технологической схемы обеспечивается рентабельное извлечение золота (93–94%) и извлечение (доизвлечение) меди в диапазоне 50% без капитальных затрат и с минимальными эксплуатационными издержками.

Ключевые слова: кондиционные и некондиционные руды, порядок развития горных работ, параметры кучного выщелачивания, зона окисления, активные растворы, стадийное кучное выщелачивание, дисперсное золото, выщелачивание меди, окислительная подготовка, серноокислотно-пероксидные растворы, гипохлоритно-хлоридное выщелачивание.

Для цитирования: Рассказов И. Ю., Секисов А. Г., Рассказова А. В., Соболев А. А. Обоснование области использования и технологических параметров селективного кучного выщелачивания золота при открытой разработке сложноструктурных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 10. – С. 106–114. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-106-114.

Justification of application field and technological parameters of selective heap gold leaching in open pit mining of complex-structure deposits

I.Yu. Rasskazov¹, A.G. Sekisov¹, A.V. Rasskazova¹, A.A. Sobolev¹

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

Abstract: The article presents the theoretical and experimental research connected with actual problem of geotechnology, namely, processing of low-grade copper-porphyry ore containing disperse gold. The process flow diagram is substantiated for stage-by-stage heap leaching of gold and copper from low-grade oxidation ore of the Malmyzh copper-porphyry deposit. The experimental results of advance activation leaching of gold from coarse ore and from post-crushing slimy fraction using chloride-hypochlorite solutions are given to prove profitable gold recoverability. Gold leaching is followed by copper leaching using sulfuric acid-peroxide and cycling sulfuric acid solutions. Cycling sulfuric acid solutions are enriched with sulfates from oxidation of sulfur of accessory sulfide minerals in additional layer of primary ore placed in the main pile, and with a natural oxidizer represented by ferric iron resulted from additional oxidation of iron in oxide, hydroxide and residual sulfide minerals. The use of the proposed process flow diagram ensures profitable recovery of gold (93–94%) and additional extraction of copper (to 50%) without capital inputs and at minimum operating expenses.

Key words: standard-quality and low-grade ore, mining advance, heap leaching parameters, oxidation zone, activation solutions, stage-by-stage heap leaching, disperse gold, copper leaching, oxidation preparation, sulfuric acid-peroxide solutions, chloride-hypochlorite leaching.

For citation: Rasskazov I. Yu., Sekisov A. G., Rasskazova A. V., Sobolev A. A. Justification of application field and technological parameters of selective heap gold leaching in open pit mining of complex-structure deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(10):106–114. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-106-114.

Введение

Цена золота, в отличие от большинства других металлов и минеральной продукции, в целом формируется не только балансом спроса и предложения, но и многими другими промышленными, политическими и экономическими факторами. Вместе с тем, для золотодобывающих предприятий, не смотря на прогнозируемый рост цен на золото, неизменно важной характеристикой производства конечной продукции являются капитальные и эксплуатационные затраты, которые в свою очередь зависят от потребляемых ресурсов: исходных — минерально-сырьевых и производственных — трудовых, энергетических и материально-технических. Укрупненная оценка полноты использования запасов рудных и россыпных месторождений золота показывает, что его временные потери в оставленных целиках, в спецотвалах забалансовых руд, вследствие ряда причин чаще всего полностью или частично трансформируются в потери безвозвратные [1]. Для сложно-струк-

турных рудных месторождений штокверкового морфолого-структурного типа, характеризующихся многоуровневой неоднородностью распределения и соотношением форм нахождения золота, значительны также и виртуальные потери (в первую очередь, не выявленные в ходе детальной и эксплуатационной разведки рудные тела или кондиционные участки внутри забалансовых руд).

Среди приоритетных направлений развития переработки минерального сырья ведущими учеными РФ отмечается повышение контрастности свойств минералов на основе применения физико-химических и энергетических методов воздействия [2]. При предварительной обработке природного труднообогащаемого и техногенного минерального сырья низкзатратными энергетическими методами воздействия наблюдается значительное улучшение технологических показателей флотационного обогащения и гидрометаллургической переработки. В настоящее время в мировом масштабе долевая часть золота, получаемая с их

использованием, достигает более 40%. Дальнейшие перспективы развития кучного выщелачивания золота связаны с внедрением процессов предварительно окисления упорных руд, повышения степени извлечения дисперсных форм нахождения этого благородного металла, что делает этот метод сопоставимым с традиционными схемами добычи и переработки не только в отношении низкосортных руд, но также и для руд с высоким содержанием ценных компонентов [3]. При этом целесообразно рассматривать и возможность гибких комбинированных схем добычи и переработки таких руд, включающих селективную выемку их геолого-технологических подтипов со сложноизвлекаемыми формами нахождения золота, первичную переработку по традиционной схеме с получением промпродуктов и/или хвостов обогащения (порционно-покусковой сепарации с последующим доизвлечением из них золота кучным выщелачиванием). В связи с этим необходимо использовать селективные схемы кучного выщелачивания с отдельным формированием штабелей [4] или их слоев с обработкой качественно различных разновидностей (типов и сортов) руд соответствующими реагентами. Также актуально разработать алгоритмическую базу для автоматизированного геотехнологического картирования месторождения и оптимизации порядка и развития горных работ в карьере с выбором схем и параметров выемки разнотипно-разносортных золотосодержащих руд во взаимосвязи с порядком и параметрами формирования штабелей для кучного выщелачивания.

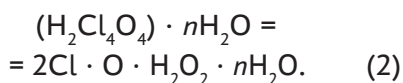
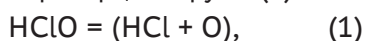
Теоретические и экспериментальные основы селективного кучного выщелачивания

Значительно расширить область использования кучного выщелачивания

золота при разработке сложноструктурных месторождений поможет решение проблемы окисления золотосодержащих сульфидных, сульфоарсенидных минералов, а также углистого вещества, обуславливающего паразитарную сорбцию растворенного золота (эффект прэг-роббинг). При переработке упорных руд наиболее приемлемым для промышленного использования растворителем золота, альтернативным цианидам щелочных и щелочноземельных металлов, является хлор [5]. Хлор, как и другие галогены, является комплексообразователем для самородного золота и одновременно окислителем для большинства сульфидных минералов и углистого вещества. В водных растворах хлор находится в ионной форме и в соединениях с кислородом (так называемый активный хлор). Активный хлор интенсивно взаимодействует с железом и рядом других минералообразующих металлов, серой, металлоидами. Соответственно, на первом этапе взаимодействия с рудой, содержащей в значительном количестве сульфидные минералы, он не участвует в реакциях комплексообразования с золотом. Проблема непродуктивного расхода хлора и (или) его соединений для условий переработки таких руд может быть решена путем предварительного окисления сульфидных минералов. При переработке руд зоны окисления с незначительным содержанием остаточных сульфидов возможность хлоридного выщелачивания золота определяется соотношением в них самородной и химически связанной форм его нахождения. Теллуриды золота, его природные сплавы, золото-кремниевые, золото-серные, золото-углеродные и более сложные кластерные структуры и в окисленных рудах являются сложноизвлекаемыми формами нахождения этого благородного металла для любых комплексообразователей. Поэтому для руд зоны окис-

ления, содержащих такие формы золота, требуется использование системы реагентов, осуществляющих хемогенную трансформацию продуктивных минеральных матриц с последующим или параллельным формированием растворимого кластерного комплекса. Для растворения ряда оболочечных структур золотосодержащих кластеров, находящихся внутри кристаллических решеток рудных минералов зоны окисления, и для комплексообразования самих атомов золота, формирующих «ядерную часть» кластеров, могут быть использованы активные хлор-кислородные комплексы. Такие комплексы создаются при электролизе раствора хлорида натрия: в межэлектродном пространстве хлорноватистая кислота (HClO)_{n, гипохлорит натрия (NaClO), а в прианодной зоне при подкислении соляной кислотой — надхлорноватистая кислота ($\text{H}_2\text{Cl}_4\text{O}_4$) · nH₂O, [6, 7].}

Такие активированные растворы (водно-газовые эмульсии) после окончания электролиза являются метастабильной средой, в которой при определенном значении Eh и pH периодически формируются хлорноватистая и надхлорноватистая кислоты, которые также периодически диспропорционируют (1):



Реальность таких автоколебательных процессов, протекающих в водных растворах, содержащих пероксидные соединения, доказана экспериментально в исследованиях, проведенных в МГУ под руководством проф., д.б.н. В.Л. Воейкова [8]. При облучении хлорид-гипохлоритного раствора, прошедшего электрохимическую обработку УФ-светом (в диапазоне длин волн 180–300 нм), интенсивность таких автоколебательных процессов существенно возрастает. При

этом надхлорноватистая кислота в соответствующем диапазоне pH диспропорционирует с выходом атомарного кислорода и образованием реакционно-активного комплекса ($\text{H}_2\text{Cl}_4\text{O}_4$) · nH₂O, который при взаимодействии с кластеризованным дисперсным золотом может формировать метастабильный хлорид-гидроксидный комплекс: $\text{Au}_3[(\text{OH})_2 \cdot \text{Cl}_4]^-$.

Для предварительного окисления остаточных сульфидных минералов природно-окисленных медно-порфировых руд с дисперсным золотом, соответственно, снижения непродуктивного расхода активных соединений хлора с кислородом и водородом на окисление железа целесообразно использовать серноокислотно-пероксидные растворы. Исследования показывают, что продолжительный период преокисления и диффузионного выщелачивания обеспечивает высокие технологические результаты [9]. Извлечение меди существенно возрастает также при использовании пероксида водорода в качестве окислителя [10]. В водно-газовой эмульсии, формируемой при электролизе раствора серной кислоты, в объеме выделяющихся газовых пузырьков при поглощении квантов УФ-излучения образуются высокоактивные окислители, такие как атомарный кислород, супероксид — ион-радикал ($\text{O}^{\cdot -}$), озон (O_3), гидроксил-радикал (OH^{\cdot}). Данные активные формы кислорода при взаимодействии с пленочной водой, окружающей газовые пузырьки, создают ион-радикальные и радикальные клатраты и кластеры, содержащие в качестве затравочных центров активные формы кислорода [11]. Такие метастабильные растворы, а точнее водно-газовые эмульсии, сравнительно длительное время (десять часов) сохраняют свою активность, в то время как сам гидроксил-радикал в свободном виде может существовать не более 10–12 с. В связи с этим наличие надпероксидных соеди-

нений в выщелачивающих растворах позволит достаточное время поддерживать их активность.

Железо за счет изменения степени окисления (+3/+2) катализирует процесс комплексообразования золота при хлоридно-гипохлоритном выщелачивании. Медь в хлоридных растворах в валентном состоянии +2, также, как и трехвалентное железо, может играть каталитическую роль, кластеризуя гидратированные ионы хлора, соответственно повышая вероятность взаимодействия их кластеризованных форм с золотом.

Электрохимическая обработка подотвалных вод (с добавлением 20 г/л NaCl) способствует интенсификации выщелачивания медноцинковых руд и увеличивает скорость растворения меди и цинка в продуктивный раствор в 2,8–6,0 раз [12].

Методика проведения исследований

Для оценки возможности использования кучного стадийного активационного выщелачивания дисперсного золо-

та из мелкодробленных руд зоны окисления Малмыжского месторождения были проведены эксперименты в режиме агитации с предварительной пропиткой их серноокисотно-пероксидным раствором. Для сравнительной оценки эффективности схемы с хлоридным комплексообразователем выщелачивание золота из параллельных навесок руды проводилось с использованием цианидного комплексообразователя в традиционном варианте (таблица). Для экспериментов по перколяционному выщелачиванию золота и меди использовалась дробленая до выхода класса –10 мм оставшаяся часть пробы руды, протестированной в агитационном режиме. Лабораторный эксперимент включал первичную обработку двух параллельных навесок руды до полного смачивания серноокисотно-пероксидным раствором, подготовленным путем электрохимической и фотохимической обработки исходного раствора серной кислоты с добавлением перед облучением УФ-лампой перекиси водорода. Следует отметить, что кислотное выщелачивание весьма эффективно при изв-

Результаты тестирующих экспериментов по выщелачиванию золота из технологической пробы окисленной руды месторождения Малмыж Experimental test data on gold leaching from technological sample of oxidized ore from the Malmyzh deposit

№ п/п	Схема выщелачивания	Извлечение элемента в раствор, мг/л			
		Au	Ag	Cu	Fe
1	Цианидая с высоким содержанием реагента ($C_{NaCN} = 0,7\%$)	0,93	0,42	32,3	390,7
2	Цианидая со стандартным содержанием реагента ($C_{NaCN} = 0,05\%$)	0,65	0,30	29,8	32,9
3	С активационной пероксидно-сульфатной подготовкой и цианидным окончанием	0,80		21,5	7,1
4	С активационной пероксидно-сульфатной подготовкой и хлоридным окончанием	0,94		7,7	8,9
5	С активационной карбонатной подготовкой и аммиачно-цианидным окончанием	0,81		13,5	34
6	Хлоридная без предварительной подготовки	0,64	0,33	0,45	0

лечении меди из окисленных руд [13]. После диффузионного окисления в процессе выстаивания обработанных навесок в течение трех суток готовился активный гипохлоритно-хлоридный раствор путем электролиза двухпроцентного раствора хлорида натрия с кондиционированием его раствором соляной кислоты. На завершающей стадии полученная активная хлоридная водно-газовая эмульсия облучалась УФ лампой ДРТ-240 в течение 5 мин.

Результаты и обсуждение

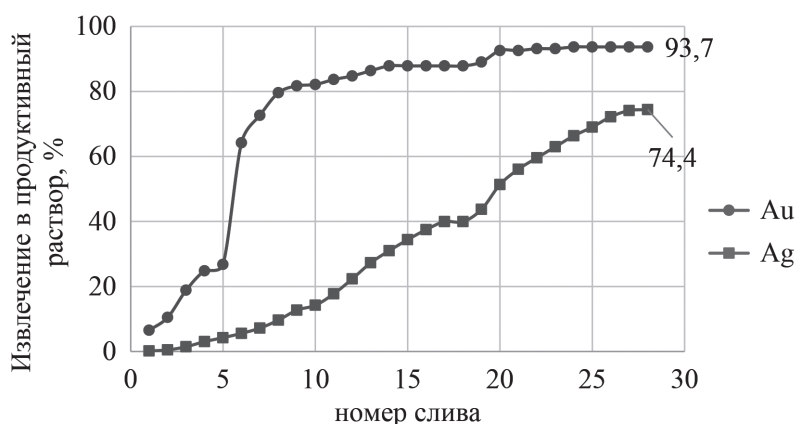
Как видно из приведенных в таблице данных, гипохлоритно-хлоридная схема выщелачивания характеризуется практически полным отсутствием выхода в жидкую фазу железа и меди, ускоренным выходом золота (0,64 мг/л через 2 ч агитационного выщелачивания и менее 0,1 мг/л — через 4 ч) и его последующим переосаждением.

Для оценки возможности использования кучного стадийного активационного выщелачивания дисперсного золота из мелкодробленных руд Малмыжского месторождения были проведены эксперименты в режиме перколяции по наиболее перспективной реагентной схеме: с предварительной пропиткой их серно-

кисотно-пероксидным раствором, и его последующим орошением активационным хлоридно-гипохлоритным раствором.

Для экспериментов по перколяционному выщелачиванию золота и меди использовалась дробленая до выхода класса –10 мм оставшаяся часть пробы руды, протестированной в агитационном режиме. Лабораторный эксперимент включал первичную обработку двух параллельных навесок руды до полного смачивания сернокисотно-пероксидным раствором, подготовленным путем электрохимической и фотохимической обработки исходного раствора серной кислоты с добавлением перед облучением УФ-лампой перекиси водорода. После диффузионного окисления в процессе выстаивания обработанных навесок в течение трех суток готовился активный гипохлоритно-хлоридный раствор путем электролиза двухпроцентного раствора хлорида натрия с кондиционированием его раствором соляной кислоты. На завершающей стадии полученная активная хлоридная водно-газовая эмульсия облучалась УФ лампой ДРТ-240 в течение 5 мин.

Динамика выщелачивания ценных компонентов из окисленной руды ме-



Динамика извлечения золота и серебра безцианидными активированными растворами
Recovery of gold and silver by non-cyanide activation solutions

сторождения Малмыж представлена на рисунке.

При прокапывании активного хлоридного раствора через окисленные рудные навески в течение 15 сут со средним расходом 100 мл/кг · сут по обеим навескам получено извлечение золота 93–94%, т.е. практически равное извлечению, полученному в эксперименте по агитационному выщелачиванию по этой же реагентной схеме с сохраненными параметрами подготовки растворов. Последующее серноокислотно-пероксидное выщелачивание обеспечило извлечение не менее 50% меди.

Выводы

Результаты агитационного выщелачивания золота из окисленной золото-медной руды из месторождения Малмыж по разным реагентным схемам продемонстрировали эффективность хлоридного выщелачивания с предварительной серноокислотно-пероксидной подготовкой. Было достигнуто 94%-е извлечение золота (по сравнению с 80% по цианидной схеме). В результате перколяционного выщелачивания по аналогичной реагентной схеме получено 93–94% извлечения золота. Серноокислотно-пероксидное выщелачивание меди обеспечило 50% извлечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Botz M., Marsden J. Heap Leach Production Modeling: a Spreadsheet-Based Technique // Mining Metallurgy & Exploration. 2019. Vol. 36. No 6. Pp. 1041 – 1052.
2. Чантурия В. А., Вайсберг Л. А., Козлов А. П. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. – 2014. – № 2. – С. 3 – 9. DOI: 10.17580/or.2014.02.01.
3. Holley E. A., Yu Y. T., Navarre-Sitchler A. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach // Hydrometallurgy. 2018. Vol. 181. Pp. 130 – 142.
4. Van Staden P. J., Petersen J. The effects of simulated stacking phenomena on the percolation leaching of crushed ore. Part 1: Segregation // Minerals Engineering. 2018. Vol. 128. Pp. 202 – 214.
5. Плаксин И. Н. Металлургия благородных металлов. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 367 с.
6. Секисов А. Г., Лавров А. Ю., Рассказова А. В. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. – Чита, 2019. – 306 с.
7. Секисов А. Г., Лавров А. Ю., Манзырев Д. В. Перспективные способы выщелачивания золота из техногенных образований Забайкалья с использованием фотоэлектрохимических процессов // Вестник ЧитГУ. – 2011. – № 2(69). – С. 106 – 111.
8. Воейков В. Л. Ключевая роль устойчиво-неравновесного состояния водных систем в биоэнергетике // Российский химический журнал. – 2009. – Т. LIII. – № 6. – С. 41 – 49.
9. Velasquez-Yevenes L. Leaching of chalcopyrite ore agglomerated with high chloride concentration and high curing periods // Hydrometallurgy. 2018. Vol. 181. Pp. 215 – 220.
10. Wu J., Ahn J., Lee J. Comparative leaching study on conicalcrite and chalcopyrite under different leaching systems // Korean Journal of Metals and Materials. 2019. Vol. 57. No 4. Pp. 245 – 250. DOI: 10.3365/KJMM.2019.57.4.245.
11. Секисов А. Г., Рассказова А. В. Патент РФ № 2647961, 2017120462, 09.06.2017. Способ выщелачивания золота из упорных руд, патент на изобретение. 2018. Бюл. № 9.
12. Чантурия В. А., Самусев А. Л., Миненко В. Г., Копорулина Е. В., Чантурия Е. Л. Обоснование эффективности использования электрохимической технологии водоподготовки в процессах кучного выщелачивания руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 5. – С. 114 – 123.

13. Yin S., Wang L., Wu A., Free M. L., Kabwe E. Enhancement of copper recovery by acid leaching of high-mud copper oxides. A case study at Yangla Copper Mine, China // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 202. Pp. 321 – 331. [ПТЭБ](#)

REFERENCES

1. Botz M., Marsden J. Heap Leach Production Modeling: a Spreadsheet-Based Technique. *Mining Metallurgy & Exploration*. 2019. Vol. 36. No 6. Pp. 1041 – 1052.
2. Chanturia V.A., Vaysberg L.A., Kozlov A. P. Promising trends in investigations aimed at all-round utilization of mineral raw materials. *Obogashchenie rud*. 2014, no 2, pp. 3 – 9. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2014.02.01.
3. Holley E.A., Yu Y.T., Navarre-Sitchler A. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach. *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 181. Pp. 130 – 142.
4. Van Staden P.J., Petersen J. The effects of simulated stacking phenomena on the percolation leaching of crushed ore. Part 1: Segregation. *Minerals Engineering*. 2018. Vol. 128. Pp. 202 – 214.
5. Plaksin I. N. *Metallurgiya blagorodnykh metallov* [Metallurgy of precious metals], Moscow, Metallurgizdat, 1958, 367 p.
6. Sekisov A. G., Lavrov A. Yu., Rasskazova A. V. *Fotokhimicheskie i elektrokhimicheskie protsessy v geotekhnologii* [Photochemical and electrochemical processes in geotechnology], Chita, 2019, 306 p.
7. Sekisov A. G., Lavrov A. Yu., Manzyrev D. V. Promising methods of leaching gold from transbaikalie technogenic formations using photoelectrochemical processes. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011, no 2(69), pp. 106 – 111. [In Russ].
8. Voeikov V. L. The key role of the stable non-equilibrium state of water systems in bioenergy. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2009, vol. LIII, no 6, pp. 41 – 49. [In Russ].
9. Velasquez-Yevenes L. Leaching of chalcopyrite ore agglomerated with high chloride concentration and high curing periods. *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 181. Pp. 215 – 220.
10. Wu J., Ahn J., Lee J. Comparative leaching study on conicalcite and chalcopyrite under different leaching systems. *Korean Journal of Metals and Materials*. 2019. Vol. 57. No 4. Pp. 245 – 250. DOI: 10.3365/KJMM.2019.57.4.245.
11. Sekisov A. G., Rasskazova A. V. *Patent RU 2647961, 2017120462, 09.06.2017*.
12. Chanturia V.A., Samusev A. L., Minenko V. G., Koporulina E. V., Chanturia E. L. Validation of the efficient application of the electrochemical water processing in ore heap leaching. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2011, no 5, pp. 114 – 123. [In Russ].
13. Yin S., Wang L., Wu A., Free M. L., Kabwe E. Enhancement of copper recovery by acid leaching of high-mud copper oxides. A case study at Yangla Copper Mine, China. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 202. Pp. 321 – 331.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рассказов Игорь Юрьевич¹ – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, научный руководитель,

Секисов Артур Геннадиевич¹ – д-р техн. наук, и.о. директора,

Рассказова Анна Вадимовна¹ – канд. техн. наук,

ведущий научный сотрудник,

Соболев Алексей Анатольевич¹ – канд. техн. наук,

старший научный сотрудник,

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.

Для контактов: Рассказов И.Ю., e-mail: rasskazov@igd.khv.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I. Yu. Rasskazov*¹, member of Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Scientific Adviser, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru,
*A. G. Sekisov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Acting Director,
*A. V. Rasskazova*¹, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher,
*A. A. Sobolev*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
¹ Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russia.
Corresponding author: I. Yu. Rasskazov, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru.

Получена редакцией 10.06.2020; получена после рецензии 11.08.2020; принята к печати 20.09.2020.
Received by the editors 10.06.2020; received after the review 11.08.2020; accepted for printing 20.09.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

(2020, № 1, СВ 5, 16 с.)

*Юнгмейстер Дмитрий Алексеевич*¹ — д-р техн. наук, профессор,
*Королев Роман Иванович*¹ — аспирант; *Бородкин Эдуард Олегович*¹ — студент,
*Лавренко Сергей Александрович*¹ — канд. техн. наук, доцент, e-mail: Lavrenko_SA@pers.spmi.ru,
*Вержанский Александр Петрович*¹ — д-р техн. наук, профессор,
генеральный директор НП «Горнопромышленники России»,
*Насонов Михаил Юрьевич*¹ — д-р техн. наук, доцент, e-mail: nasonov-m@spmi.ru,
¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Рассмотрены основные виды глубоководных полезных ископаемых, содержащих востребованные на сегодняшний день компоненты: марганец, никель, медь, кобальт, молибден, цинк. Описаны железомарганцевые конкреции — ЖМК (Mn, Ni, Si, Co), кобальтмарганцевые корки — КМК (Co, Mn, Ni), глубоководные полиметаллические сульфиды — ГПС (Cu, Zn, Au, Ag). Выделена Индийская концепция освоения глубоководных месторождений с указанием ее недостатков. Обоснована компоновочная схема комплекса для добычи глубоководных полезных ископаемых с использованием канатно-скиповой подъемной системы с тросами, придонным перегрузочным устройством, сборщиком и двумя вспомогательными суднами. Описан сборщик для глубоководной добычи ЖМК и КМК с исполнительными органами в виде камер разряжения или устройства грейферного типа соответственно для каждого вида полезного ископаемого (ПИ). Проведен анализ способ транспортировки полезного ископаемого на поверхность с помощью трубопровода. Представлен расчет производительности систем глубоководной добычи.

Ключевые слова: сборщик, кобальтмарганцевые корки, железомарганцевые конкреции, глубоководная добыча, камеры разряжения, грейфер.

JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF DEVICES FOR DEEP-SEA MINING

*D. A. Yungmeister*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor; *R. I. Korolev*¹, Graduate Student; *E. O. Borodkin*¹, Student, *S. A. Lavrenko*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: Lavrenko_SA@pers.spmi.ru, *A. P. Verzhansky*, Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director, NP «Mining companies of Russia», *M. Yu. Nasonov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The main types of deep-sea minerals containing the components demanded today are considered: manganese, nickel, copper, cobalt, molybdenum, zinc. Manganese nodules — MN (Mn, Ni, Cu, Co), cobalt-rich manganese crusts — CMC (Co, Mn, Ni), and deep-sea polymetallic sulfides — DPS (Cu, Zn, Au, Ag) are described. The Indian concept of deep-water field development is highlighted, indicating its shortcomings. The layout scheme of the complex for the extraction of deep-sea minerals using a cable-skip hoisting system with cables, a bottom transshipment device, a collector and 2 auxiliary vessels is justified. A collector for deep-water mining of MN and CMC is described with executive bodies in the form of pressure drop chambers or clamshell type devices, respectively, for each type of mineral. An analysis is made of a method for transporting minerals to the surface using a pipeline. The calculation of the performance of deep-sea mining systems is presented.

Key words: mining collector, cobalt-rich manganese crusts, manganese nodules, deep-sea mining, pressure drop chambers, clamshell type device.