

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-40-46>

ISSN 2949-0952 (Print)

УДК 622.7:669.2/.8



ВОЗВРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Дзапаров В.Х.¹, Семелиди А.Х.¹, Плиева М.Т.¹, Касоева М.В.¹, Галачиева С.В.^{2*}

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет, гор. Владикавказ, Россия

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), гор. Владикавказ, Россия

* Контактное лицо: svetagalachieva@list.ru

kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (Д.В.Х.); kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (С.А.Х);

kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (П.М.Т.); kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (К.М.В.)

Аннотация. Сформулирована проблема материально-сырьевой базы цветной металлургии – компенсация потерь металлов в процессе переработки рудного сырья. Обобщён имеющийся опыт извлечения металлов по механохимической технологии. Показано, что техногенные отходы подотраслей цветной металлургии формируют пригодные для разработки месторождения, которые, кроме экономического ущерба от неполного извлечения металлов, порождают экологические проблемы. Отмечено, что процессы и технологии первичной переработки руд сложного вещественного состава не обеспечивают безотходности обогащения и являются причиной нарушения баланса между показателями добычи сырья и его переработки, поскольку существующие методы не обеспечивают безотходности процессов обогащения. Обосновано, что повышение извлечения металлов вплоть до фонового уровня возможно при обработке их растворами химических реагентов в момент образования активных поверхностей минералов. Сделан вывод, что комплексирование традиционных и новых безотходных технологий позволит упрочить минеральную безопасность в результате рационального использования имеющейся минерально-сырьевой базы.

Ключевые слова: цветная металлургия, потери металлов, процессы обогащения, экологические проблемы, гидрометаллургия, механохимическая активация

© Дзапаров В.Х., Семелиди А.Х., Плиева М.Т., Касоева М.В., Галачиева С.В., 2023

Поступила: 24 марта 2023; Принята к публикации: 10 декабря 2023; Опубликовано: 27 декабря 2023

Для цитирования:

Дзапаров В.Х., Семелиди А.Х., Плиева М.Т., Касоева М.В., Галачиева С.В. Возвращение потерь при переработке руд цветных металлов // Недропользование и транспортные системы. 2023. Т.13. №2. С.40-46. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-40-46>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-40-46>

ISSN 2949-0952 (Print)



RECOVERY OF LOSSES IN THE PROCESSING OF NON-FERROUS METAL ORES

Vyacheslav Dzaparov¹, Alexander Semelidi¹, Marina Plieva¹, Maya Kasoeva¹,
Svetlana Galachieva^{2*}

¹ North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, Russia

² North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
Vladikavkaz, Russia

* Corresponding: svetagalachieva@list.ru

kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (V.D.); kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (A.S.);

kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (M.P.); kafedra-eup@skgmi-gtu.ru (M.K.)

Abstract. The problem of material and raw material base of non-ferrous metallurgy — compensation of metal losses in the process of ore raw material processing is formulated. The available experience of metal extraction by the mechanochemical technology is generalized. It is shown that technogenic wastes of sub-sectors of non-ferrous metallurgy form deposits suitable for development, which, in addition to economic damage from incomplete extraction of metals, generate environmental issues. It is noted that the processes and technologies of primary processing of ores of complex material composition do not provide waste-free enrichment. They are the reason for violation of the balance between the indicators of raw material extraction and its processing, as the existing methods do not provide waste-free dressing processes. Furthermore, it is substantiated that the increase in metal extraction up to the background level is possible for their treatment with solutions of chemical reagents now of formation of active surfaces of minerals. It is concluded that the complexing of traditional and new waste-free technologies will make it possible to strengthen mineral security as a result of rational use of the available mineral resource base.

Keywords: non-ferrous metallurgy, metal losses, dressing processes, environmental problems, hydrometallurgy, mechanochemical activation

© Dzaparov V.Kh., Semelidi A.Kh., Plieva M.T., Kasoeva M.V., Galachieva S.V., 2023

Received: March 24, 2023; Accepted: December 10, 2023; Published: December 27, 2023

For citation:

Dzaparov V.Kh., Semelidi A.Kh., Plieva M.T., Kasoeva M.V., Galachieva S.V. Recovery of Losses in the Processing of Non-Ferrous Metal Ores // Subsurface Management and Transportation Systems. 2023, Vol. 13, No. 2, pp. 40-46.

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-40-46>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Одной из проблем горного производства, имеющей глобальное значение, является отставание возможностей переработки рудного сырья от темпов увеличения объёмов его добычи из недр [1–3].

Среди проблем сырьевой базы цветной металлургии актуализировалась задача потерь металлов в процессе переработки руд. Из-за чего техногенные отходы цветной металлургии по существу являются месторождениями.

Традиционные технологии обогащения и металлургии не обеспечивают безотходности и не только являются причиной потерь, но и генерируют токсичные для окружающей среды вещества [4–6].

В настоящее время преобладает мнение, что повышение извлечения металлов вплоть до безопасного для живого вещества уровня токсичности возможно при выщелачивании растворами химических реагентов в момент образования активных поверхностей минералов.

Вовлечение в эксплуатацию запасов техногенных месторождений в результате выщелачивания металлов формирует устойчивую тенденцию. Реальной

возможностью относительно безотходной переработки руд является сочетание традиционных технологий с технологиями выщелачивания в активаторах типа дезинтегратора.

Разработка и освоение безотходных технологий требует осмысления и проектной реализации для упрочнения минеральной безопасности путём рационального использования сырьевой базы [7–10].

2. Цель и задача исследования

Целью исследований является поиск возможностей возвращения потерянных при обогащении и металлургической переработке металлов.

Поставленная задача решается комплексным методом, включающим анализ ситуации с материальной базой цветной металлургии, опробование хвостов переработки и инженерное прогнозирование развития технологий.

3. Существующие схемы переработки

Данные по обеспеченности запасами цветных металлов представлены в **табл.1**.

Таблица 1. Сырьевая база цветной металлургии
Table 1. Raw material base of non-ferrous metallurgy

Ценный компонент	Тип месторождения	Количество месторождений	Запасы, млн т
Цинк	Коренные	151	60
	Техногенные	1	
Свинец	Коренные	102	8
	Техногенные	3	
Никель	Коренные	59	7
	Техногенные	3	
Медь	Коренные	171	58
	Техногенные	6	
Титан	Коренные	19	118
	Техногенные	1	
	Россыпные	16	
Вольфрам	Коренные	52	0.2
	Техногенные	1	
	Россыпные	40	
Олово	Коренные	123	0.8
	Россыпные	147	
Алюминий	Бокситовые	57	518
	Нефелиновые	17	
Молибден	Коренные	34	1070

При удовлетворительной в целом обеспеченности разведанными запасами полезных ископаемых, существует ряд проблем минерально-сырьевой базы цветных металлов.

На Тырныаузском комбинате при кондиции WO_3 0.1%, его содержание в хвостах превышает 0.04%. Отвалы обогащения Тырныаузского комбината представляют собой техногенное месторождение.

Ежегодное увеличение земель под отвалы составляет 90 км². Воздействие отходов проявляется на территории, в 10 раз превышающую площадь хранилищ. Процессы переработки руд представлены на

рис. 1.

Предварительная концентрация горной массы позволяет уменьшить величину отвального продукта, повысить содержание ценных компонентов, снизить объёмы отходов и вовлечь в переработку некондиционное сырье.

Проблемными задачами остаётся совершенствование технологий селективной флотации частиц более 0.5 мм и менее 0.03 мм. Особое значение придаётся аэрационно-окислительной, тепловой и электрохимической обработке флотационных систем с использованием энергетических воздействий.

Однако все применяемые методы имеют серьёзный недостаток – они не обеспечивают безотходности процессов обогащения. Возможности традиционных технологий ограничены использованием преимущественно только механической энергии.

Отечественное оборудование уступает зарубежному по основным показателям, а производительность труда на обогатительных фабриках уступает мировым аналогам.

Модернизация процессов путём привлечения операций гидрометаллургической и химической перера-

ботки незначительно увеличивает показатели, так как для проникновения реагентов вглубь минеральной частицы необходимо продолжительное время.

Комбинирование процессов обогащения позволяет вовлекать в переработку бедные и забалансовые сложные упорные руды и техногенное сырьё, обеспечивая повышение качества продукции, извлечение металлов и переработку пиритных полиметаллических продуктов, например, для сложных руд месторождения «Озёрное» и месторождений УГМК-Холдинга.

Концентрация: в тяжелых средах, сухая магнитная сепарация, промывка, дезинтеграция, радиометрическая сепарация

Раскрытие сростков: селективная дезинтеграция с использованием энергии газа, взрыва, электроимпульсной и плазменной обработки

Раскрытие тонко-вкрапленных: немеханическое разрушение ускоренными электронами и электромагнитными импульсами

Разделение минералов: винтовые шлюзы, концентраторы, наложение силовых полей

Селективная флотация: аэрационно-окислительная, тепловая и электрохимическая обработка

Повышение контрастности: энергетические воздействия: радиационное, ультразвуковое, магнитно-импульсное, механохимическое

Рис. 1. Направления совершенствования технологии обогащения руд
Fig. 1. Directions for improvement of ore processing technology

Извлечение всех металлов до фонового уровня возможно при повышении активности некондиционного сырья или способности составляющих его минералов изменять поверхностное натяжение в поверхностном слое на границе раздела фаз путём обработки их поверхностно-активными веществами в момент образования свежих поверхностей минералов с использованием особого энергетического состояния и резко изменяющейся реакционной способности. Имеющийся опыт извлечения металлов по механохимической технологии позволяет сделать следующие заключения:

- выщелачивание в дезинтеграторе эффективнее по сравнению с агитационным;
- выщелачивание в дезинтеграторе по сравнению с раздельной активацией и выщелачиванием уско-

ряет извлечение на два порядка;

- содержание металлов во вторичных хвостах уменьшается при увеличении кратности переработки.

На **рис. 2** показана схема процесса выщелачивания в дезинтеграторе.

Резервом добычи потерянного металла являются сточные воды обогатительных фабрик, которые составляют 60–90% объёма промышленных стоков предприятия и содержат растворенные и диспергированные вещества.

В горнодобывающих отраслях проявляется тенденция вовлечения в эксплуатацию запасов техногенных месторождений с использованием технологий выщелачивания металлов (**табл. 2**).

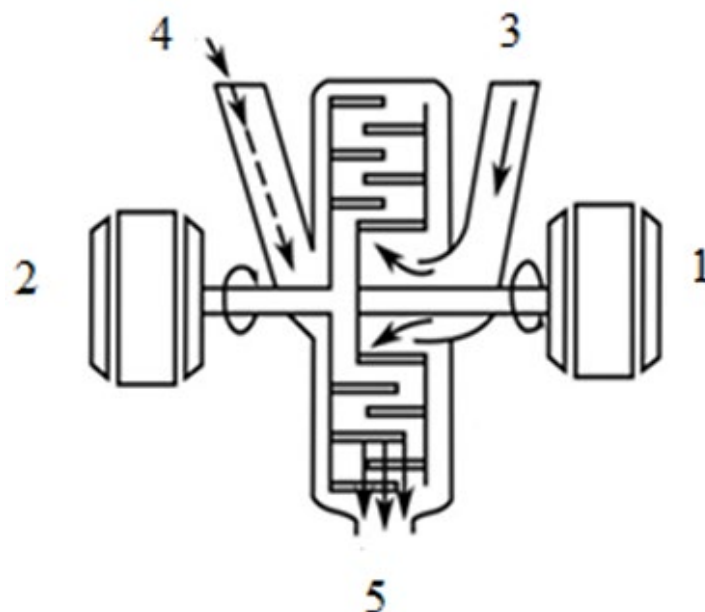


Рис.2. Схема выщелачивания хвостов обогащения в дезинтеграторе: 1,2 – электродвигатели;3 – хвосты обогащения; 4 – раствор реагентов; 5 – продукционный раствор и вторичные хвосты
 Fig.2. Scheme of enrichment tailings leaching in the disintegrator: 1,2 — electric motors; 3 — enrichment tailings; 4 — reagents solution; 5 — production solution and secondary tailings.

Таблица 2. Месторождения, разрабатываемые выщелачиванием
 Table 2. Deposits developed by leaching

Извлекаемый металл	Месторождение (технология)	Регион
Медь	Техногенные месторождения	Свердловская обл.
		Мурманская обл.
		Красноярский край
Никель-кобальт	Гумешевское (подземное выщелачивание)	Свердловская обл.
	Аллареченское	Мурманская обл.
	Хвостохранилище № 1	Красноярский край
Цинк	Озеро Барьерное	Свердловская обл.
Олово	Шлакоотвал	Свердловская обл.
Вольфрам	Техногенные месторождения	-
	Барун-Нарынское	Бурятия
	Спокойнинское	Забайкальский край
Молибден попутно с ураном	Стрельцовское (подземное и кучное выщелачивание)	Читинская обл.
Титан	Кручининское (перспектива скважинного выщелачивания)	Забайкальский край

Возможность прорывного улучшения показателей извлечения при обогащении руд предоставляет комбинирование традиционных технологий с новыми безотходными гидрометаллургическими технологиями в результате дополнения традиционной технологической цепи аппаратами – активаторами (рис. 3). Это позволит уменьшить объем хранения сначала текущих, а затем и лежалых хвостов.

Комплексирование традиционных и новых безотходных технологий позволит упрочить минеральную

безопасность России в результате использования имеющейся минерально-сырьевой базы и инфраструктуры [7–10].

Извлечение дополнительного количества металлов из техногенного сырья может не только компенсировать затраты на перевооружение производства металлов, но в соответствующих условиях и обеспечить прибыль. Экономическая эффективность этого природоохранного мероприятия становится очевидной, если учесть действительный ущерб, причиняемый окружающей среде хранением хвостов [11–13].

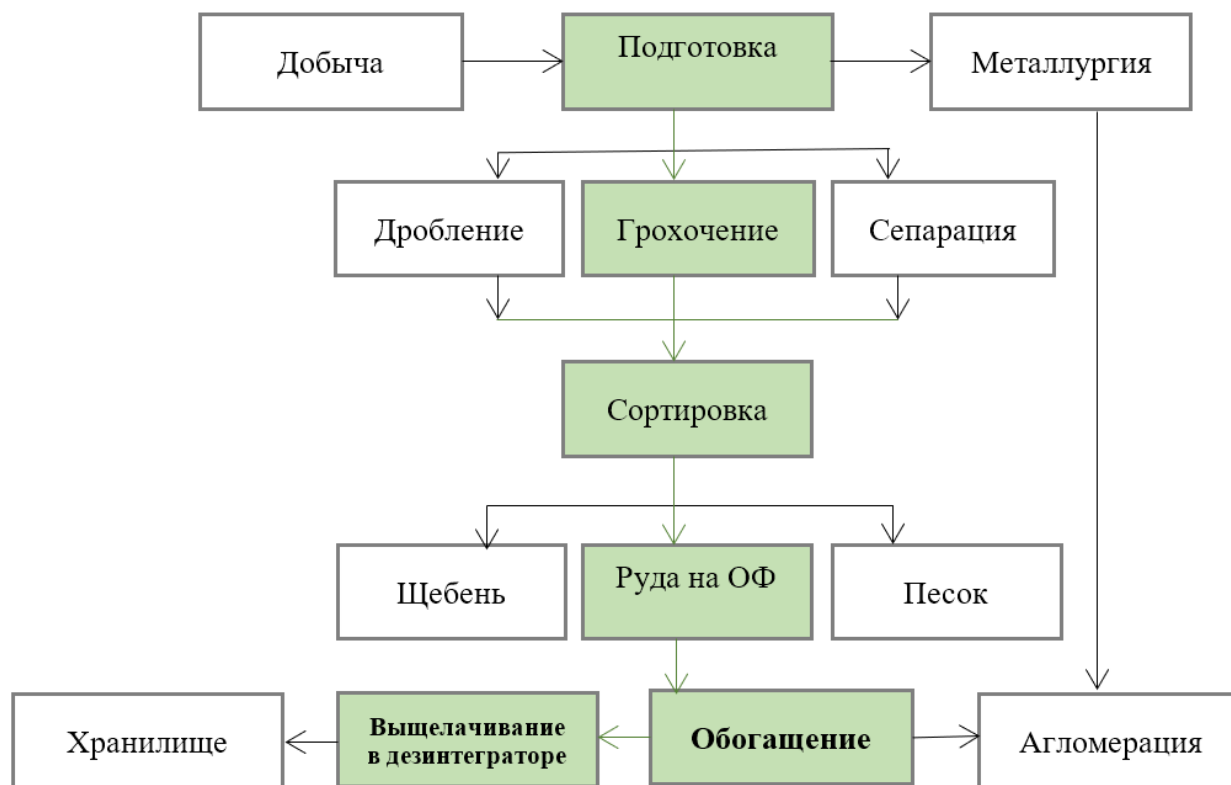


Рис.3. Комбинирование технологий переработки руд цветных металлов
 Fig.3. Combination of non-ferrous metal ores processing technologies

4. Заключение

Минеральная безопасность России упрочняется при возвращении потерянных при переработке руд цветных металлов в результате комбинирования традиционных и новых технологий выщелачивания.

Извлечение металлов из техногенного сырья спо-

собно не только компенсировать затраты на перевооружение производства металлов, но и обеспечить прибыль, при условии учёта фактического ущерба окружающей среде, которое несут запасы токсичных отходов.

Список литературы

1. Дмитрак Ю.В., Цидаев Б.С., Дзапаров В.Х., Харебов Г.З. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России // Вектор ГеоНаук. 2019. № 1. С. 9-18. <https://www.doi.org/10.24411/2619-0761-2019-10002>.
2. Valiev N., Propp V., Vandyshev A. The 100th Anniversary of the Department of Mining Engineering of UrSMU // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii Gornyi zhurnal. 2020. Vol. 1. No. 8. pp. 130-143. <https://www.doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>.
3. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N. The History of Russian Caucasus Ore Deposit Development // The Social Sciences. 2016. Vol. 11. No 15. pp. 3742-3746.
4. Комащенко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 4. С. 23-30.
5. Gryazev M.V., Kachurin N.M., Zakharov E.I. Tula State University: 85 Years of Service to the Motherland // Gornyi Zhurnal. 2016. No.2. pp. 25-29. <https://www.doi.org/10.17580/gzh.2016.02.05>.
6. Liskova M. Negative Impact on the Environment Caused by Companies that Mine and Process Potassium and Magnesium Salts // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. 2017. Vol. 16. No. 1. pp. 82-88. <https://www.doi.org/10.15593/2224-9923/2017.1.9>.
7. Chanturiya V.A., Bocharov V.A. Modern State and Basic Ways of Technology Development for Complex Processing of Non-Ferrous Mineral Raw Materials // Tsvetnye Metally. 2016. No. 11. pp. 11-18. <https://www.doi.org/10.17580/tsm.2016.11.01>.
8. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. 2010. № 5. С. 38-40.

9. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal Extraction from Ore Benefication Codas by Means of Lixiviation in a Disintegrator // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 17. pp. 38105-38109.
10. Hoummady E., Golfier F., Cathelineau M., Truche L., Durupt N., Blanvillain J.-J., Neto J., Lefevre E. A Study of Uranium-Ore Agglomeration Parameters and Their Implications During Heap Leaching // *Minerals Engineering*. 2018. Vol. 127. pp. 22-31. <https://www.doi.org/10.1016/j.mineng.2018.07.012>.
11. Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., Gaponova I.V. Enhancing Mine Production Efficiency through Waste Management // *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 12. pp. 46-51. <https://www.doi.org/10.17580/gzh.2017.12.09>.
12. Kuhar L.L., Bunney K., Jackson M., Austin P., Li J., Robinson D.J., Prommer H., Sun J., Oram J., Rao A. Assessment of Amenability of Sandstone-Hosted Uranium Deposit for In-situ Recovery // *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 179. pp. 157-166. <https://www.doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.06.003>.
13. Oryngozhin E.S., Fedorov E.V., Alisheva Zh.N., Mitishova N.A. In-situ Leaching Technology for Uranium Deposits // *Eurasian Mining*. 2021. No. 2. pp. 31-35. <https://www.doi.org/10.17580/em.2021.02.07>.

References

1. Dmitrak Y.V., Tsidaev B.S., Dzaparov V.Kh. and Kharebov G.Z. 2019. Mineral and Raw Material Base of Non-Ferrous Metallurgy of Russia. *Vector of Geosciences*, No. 1, pp. 9–18. (In Russ.).
2. Valiev, N., Propp, V. and Vandyshev, A. 2020. The 100th Anniversary of the Department of Mining Engineering of UrSMU. *IVUZGZ*, Vol. 1, No. 8, pp. 130–43. (In Russ.).
3. Golik V.I., Razorenov Yu.I. and Ignatov V.N. 2016. The History of Russian Caucasus Ore Deposit Development. *The Social Sciences*, Vol. 11, No. 15, pp. 3742–46.
4. Komashchenko V.I. 2015. Environmental-Economical Expediency of Utilizing Mining-Industrial Wastes for their Converting. *Izvestija Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*, No. 4, pp. 23–30. (In Russ.).
5. Gryazev M.V., Kachurin N.M. and Zakharov E.I. 2016. Tula State University: 85 Years of Service to the Motherland. *gzh*, No. 2, pp. 25–29. (In Russ.).
6. Liskova, M. 2017. Negative Impact on the Environment Caused by Companies that Mine and Process Potassium and Magnesium Salts. *PERM JOURNAL OF PETROLEUM AND MINING ENGINEERING*, Vol. 16, No. 1, pp. 82–88. (In Russ.).
7. Chanturiya V.A. and Bocharov V.A. 2016. Modern State and Basic Ways of Technology Development for Complex Processing of Non-Ferrous Mineral Raw Materials. *tsm*, No. 11, pp. 11–18. (In Russ.).
8. Golik V.I. 2010. Metals Recovery from Mineral Processing Tailings by Combined Activation Methods. *Obogashchenie Rud*, No. 5, pp. 38–40. (In Russ.).
9. Golik V.I., Razorenov Y.I. and Polukhin O.N. 2015. Metal Extraction from Ore Benefication Codas by Means of Lixiviation in a Disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No. 17, pp. 38105–09.
10. Hoummady E., Golfier F., Cathelineau M., Truche L., Durupt N., Blanvillain J.-J., Neto J. and Lefevre E. 2018. A Study of Uranium-Ore Agglomeration Parameters and Their Implications During Heap Leaching. *Minerals Engineering*, Vol. 127, pp. 22–31.
11. Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A. and Gaponova I.V. 2017. Enhancing Mine Production Efficiency through Waste Management. *gzh*, No. 12, pp. 46–51. (In Russ.).
12. Kuhar L.L., Bunney K., Jackson M., Austin P., Li J., Robinson D.J., Prommer H., Sun J., Oram J. and Rao A. 2018. Assessment of Amenability of Sandstone-Hosted Uranium Deposit for In-situ Recovery. *Hydrometallurgy*, Vol. 179, pp. 157–66.
13. Oryngozhin E.S., Fedorov E.V., Alisheva Zh.N. and Mitishova N.A. 2021. In-situ Leaching Technology for Uranium Deposits. *em*, No. 2, pp. 31–35.