

АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИИ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНЫХ РУД

У.А. Бектибаев, Н.Ж. Жалгасулы, А.А. Исмаилова,
Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, посвященные процессу выщелачивания медных руд, которое ограничивается временем летнего периода и неподготовленности оснований куч, что приводит к утечке продуктивных растворов, к потере металлов и загрязнению окружающей среды. Разработан способ интенсивного кучного выщелачивания окисленных руд, позволяющий комплексно извлекать полезные компоненты из трудно извлекаемой руды. На основании результатов проведенных исследований выполнен рабочий проект участка кучного выщелачивания окисдных медных руд Малого-Спасского карьера. Показано, что экономические показатели разработанной технологии значительно возрастают при комплексном использовании руды по сравнению с извлечением из нее только меди.

Ключевые слова: медная руда, создание кучи, растворители, кучное выщелачивание, металлы, окружающая среда.

Благодарность: Работа выполнена в рамках грантового финансирования по проекту AP14871298 «Технология получения препарата-адаптогена на основе гуматов из угля и экстрактов дикорастущих растений для создания устойчивого растительного покрова на техногенных объектах».

Для цитирования: Бектибаев У.А., Жалгасулы Н.Ж., Исмаилова А.А. Аспекты экологических требований при технологии кучного выщелачивания медных руд // Маркшейдерия и недропользование. 2023. №6. С. 77-81.
DOI: 10.56195/20793332_2023_6_77_81.

ASPECTS OF ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS IN THE TECHNOLOGY OF HEAP LEACHING OF COPPER ORES

U.A. Bektibayev, N.J. Zhalgasuly, A.A. Ismailova,
Institute of Mining named after D.A. Kunaev, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract: The article discusses issues related to the leaching process of copper ores, which is limited by the time of the summer period and the unpreparedness of the base piles, which leads to leakage of productive solutions, loss of metals and environmental pollution. A method of intensive heap leaching of oxidized ores has been developed, which allows complex extraction of useful components from hard-to-extract ore. Based on the results of the conducted research, a working draft of the heap leaching site of copper oxide ores of the Maly-Spassky quarry was carried out. It is shown that the economic indicators of the developed technology increase significantly with the complex use of ore compared with the extraction of copper only from it.

Keywords: copper ore, heaping, solutions, heap leaching, metals, environment.

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of grant funding under the AP14871298 project «Technology for obtaining an adaptogen preparation based on humates from coal and extracts of wild plants to create a sustainable vegetation cover at man-made facilities».

For citation: Bektibayev U.A., Zhalgasuly N.J., Ismailova A.A. Aspects of environmental requirements in the technology of heap leaching of copper ores. Surveying and subsoil use. 2023;(6): 77-81. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2023_6_77_81.

Геотехнологические способы извлечения металлов из недр (подземное и кучное выщелачивание) по своей сути являются экологически чистыми, поскольку предполагают минимум отрицательного воздействия человека на окружающую среду. В связи с этим и высокой экономичностью геотехнологических процессов, они получают все более широкое применение при добыче металлов [1-3].

Выщелачивание руд производится растворами серной кислоты низкой концентрации 5-10 г/л. Если увеличить ее концентрацию, то далее осложняется процесс извлече-

ния меди из раствора путем цементации или экстракции [4-6].

Медь из продуктивного раствора осаждается обычным порядком — цементацией на железном скрапе или экстракцией. Для ускорения процессы выщелачивания производятся в кучах небольшой высоты. Извлечение меди в раствор достигает 85 % [7-9].

Вместе с тем, из-за отсутствия теоретической разработки данного процесса, трудно объяснить его преимущества по сравнению с традиционными технологиями кучного выщелачивания на отвалах и намечать пути

дальнейшего усовершенствования геотехнологических процессов.

В работах казахстанских ученых детально изучена кинетика механизма растворения медных минералов в растворах серной кислоты в условиях свободной конвекции растворов применительно к геотехнологическим процессам [10-12]. Показано, что растворение карбонатов, оксидов, силиката, сульфата меди и вторичных сульфидов меди происходит в диффузионной области. Проанализировав возможные пути подогрева указанной смеси в условиях геотехнологических процессов, авторы установили, что нагрев можно обеспечить только химическим путем, а в качестве нагревающего агента может служить один из участников реакции – серная кислота, и, в частности, концентрированная. Взаимодействие минералов с концентрированной серной кислотой происходит без участия молекул воды, и поэтому механизм и кинетика перехода минералов в сульфаты здесь, безусловно, иные, чем при растворении минералов в системе минерал - H_2SO_4 - H_2O .

Подобный процесс можно обозначить, как низкотемпературную сульфатизацию минералов, поскольку температура внутри кучи руды после ее обработки составляет 60-80°C. Следует отметить, что при этом повышается не только растворение первичных сульфидов, но и других минералов меди.

Руда, в результате ее взаимодействия с концентрированной серной кислотой, превращается в жесткий твердый материал, который при соприкосновении с водой легко разрушается и декретитруется. Это позволило сделать вывод, что нет необходимости дробить исходную руду до крупности 0,4 мм, как это делается в [13, 14].

Одновременно, лабораторные исследования и опытно-промышленные испытания показали, насколько сильно декретитруется руда, что способствует улучшению фильтрации растворов через кучу. Высота кучи варьируется в пределах 0,5-1,0 м, в зависимости от крепости руды. Оптимальная высота кучи определяется опытным путем.

Цель исследований — разработка способа интенсивного кучного выщелачивания руд Малого Спасского карьера, позволяющего комплексно извлекать полезные компоненты из забалансовой руды.

Материалы и методы исследования

На основе разработанного теоретического и экспериментального материала предложен новый интенсивный способ кучного выщелачивания медных руд с использованием концентрированной H_2SO_4 . Сущность его состоит в том, что исходная руда дробится до крупности -40 мм и далее обрабатывается концентрированной серной кислотой, а сульфатизированная руда выщелачивается раствором серной кислоты низкой концентрации (0,5 г/л H_2SO_4).

Результаты исследований

Теоретическим и экспериментальным путем установлено влияние формы кучи руды и наличие в ней мелких фракций (-6,4 мм) для сохранения тепла. Дело в том, что правильной формой кучи руды является полусфера, которая лучше сохраняет тепло, чем куча конической формы. Оптимальный принцип укладки кучи: в нижнюю часть фракция 4-6,4 мм, в верхнюю часть — фракция -6,4 мм. Мелкая фракция служит своеобразной оболочкой, защищающей всю кучу от излишних теплопотерь. В этой связи экспери-

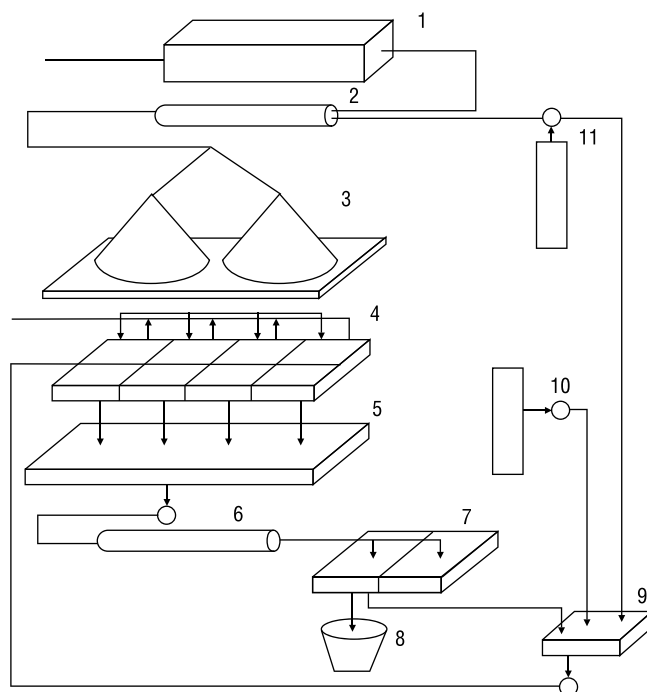


Рис. 1. Аппаратурная схема процесса интенсивного кучного выщелачивания:

1 - дробильно-сортировочный агрегат; 2 - смеситель; 3 - площадка для выдержки руды; 4 - камеры для выщелачивания; 5 - емкость-отстойник для продуктивных растворов; 6 - цементатор; 7 - емкости-отстойники для растворов после цементации; 8 - контейнер для цементной меди; 9 - емкость для регенерации оборотных растворов; 10 - емкость для воды; 11 - емкость для серной кислоты /

Fig. 1. Hardware diagram of the intensive heap leaching process:

1 - crushing and sorting unit; 2 - mixer; 3 - ore holding area; 4 - leaching chambers; 5 - settling tank for productive solutions; 6 - cementator; 7 - settling tanks for solutions after cementation; 8 - container for cement copper; 9 - container for regeneration of circulating solutions; 10 - water tank; 11 - sulfuric acid tank

ментально установлено, что в смеси фракций массовое количество мелкой фракции должно быть не меньше 1,6 %, чтобы обеспечить максимум сохранения тепла в куче и высокое извлечение меди в раствор. На основании результатов лабораторных исследований проведены опытно-промышленные испытания по технологии интенсивного кучного выщелачивания на сильно окисленной руде Малого Спасского карьера (рис. 1).

Эти испытания подтвердили результаты цикла лабораторных исследований. Установлено, что извлечение меди в раствор составило 91,5 %, а из раствора в цементационную медь — в среднем 95 % [15, 16].

Руда забойной крупности (300 мм) дробится дробильно-сортировочным агрегатом (1) до крупности -40 +0 мм. На первых порах, до приобретения и монтажа дробильно-сортировочного агрегата, можно использовать грохоты. С целью определения, в промышленных условиях, влияния крупности руды на эффективность кучного выщелачивания, выбора ее оптимального гранулометрического состава, рекомендуется варьировать степень дробления. При этом выщелачивание рекомендуется проводить с рудой различной крупности: от -40+0 мм до забойной, то есть, в разных вариантах руду дробить до различной крупности, вплоть до ис-

пользования руды забойной крупности без ее дробления. Затем руда в смесителе (2) смачивается (обрабатывается) концентрированной серной кислотой. Расход кислоты 0,08-0,09 т/т руды, продолжительность смешивания 1-2 мин. Обработанная руда складывается на гидроизолированной площадке (3) в кучу полусферической формы.

Складирование руды проводится последовательно: внизу кучи крупные фракции (+10мм), сверху мелкие (-10 мм). При этом варьируется количество (толщина слоя) мелочи крупной фракции [17, 18].

Руду после выдержки погрузчиком переносят в камеры для выщелачивания (4) и складывают в плоскую кучу высотой 1 м. В промышленных условиях рекомендуется варьировать высоту кучи от 0,5 до 10 м и более. Затем начинается орошение кучи выщелачивающим раствором концентрацией 0,5 г/л серной кислоты. Плотность орошения — 1 м³/т руды в сутки. При продлении процесса вышеуказанные параметры технологии (концентрация выщелачивания) будут изменяться.

Продуктивные растворы стекают в емкость-отстойник. Емкость-отстойник один на все 4 камеры. Ежедневно в работе находятся 3 камеры, а четвертая — на промывании водой и разгрузке выщелоченной руды, а также, для загрузки новой порции обработанной руды. Исходя из ежесуточной работы 3-х камер, размеры емкости определяются из расчета приема односуточного объема продуктивных растворов, то есть $610 \text{ м}^3 \times 3 = 1830 \text{ м}^3$. Размеры емкости-отстойника принимаются равными: 40,9 м × 15 м × 3 м [19].

Осветленный продуктивный раствор из емкости-отстойника подается насосом на установку по переработке продуктивного раствора (цементатора) — 83 м³/ час. Расход железного скрапа при цементации — 1,5 т/т меди. После извлечения меди растворы стекают в емкость-отстойник (7), разделенный на 2 части, работающие поочередно объемом 500 м³. После цементации осадок цементной меди из отстойников (7) перегружается в контейнеры (8) и отправляется потребителю, а осветленный раствор стекает в емкость для регенерации оборотных растворов (9), где подкрепляется серной кислотой до нужной концентрации и направляется на следующий цикл выщелачивания [19].

Как указывалось выше, в процессе опытно-промышленных испытаний будут варьироваться некоторые параметры технологии, такие как крупность руды, высота кучи, плотность орошения, соотношение крупных и мелких фракций и т.д. с целью оптимизации в промышленных условиях.

Вместе с медью в цементационный осадок переходит и серебро, содержание которого в указанном осадке составляет 145 г/т.

Положительные результаты исследований по использованию выщелоченной руды (отходов выщелачивания) позволили рекомендовать их в качестве компонента закладочной смеси [20].

Заключение

1. На основании результатов проведенных исследований выполнен рабочий проект участка кучного выщелачивания окисленных медных руд Малого Спасского карьера, в котором предусмотрено проведение технологических операций на заранее подготовленных промплощадках, устойчивых к действию растворов серной кислоты, для чего узел смешивания, площадка для выдержки обработанной руды, камеры выщелачивания, бассейны для продуктивных растворов и промыв, баки, склад серной кислоты и др. должны иметь надежное гидроизолированное основание, выполненное из слоя глины толщиной не менее 300 мм и двух-трех слоев полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм, либо одним слоем пленки толщиной 0,5 мм.

2. Определены источники выделения вредных веществ на территории опытно-промышленного участка, и разработаны природоохранные мероприятия по охране атмосферного воздуха и водных ресурсов. Выполнен расчет выбросов загрязненных веществ от основных и вспомогательных агрегатов.

3. Определена экономическая эффективность природоохранных мероприятий, где расчетным путем определена экономическая эффективность воздухоохраных мероприятий, которая составляет 33,5 тыс. долларов в год, а водоохраных мероприятий — 210 тыс. долларов в год.

4. Разработанный авторами способ интенсивного кучного выщелачивания окисленных руд Малого Спасского карьера позволяет комплексно извлекать полезные компоненты из трудно извлекаемой руды. Вследствие возможности нагрева реакционной массы до 60-80°C в промышленных условиях можно увеличить продолжительность сезона с 6 до 8 месяцев в году.

5. Все экономические показатели разработанной технологии существенно возрастают при комплексном использовании руды по сравнению с извлечением из нее только одной меди. Прибыль при комплексном использовании руды составляет 71 млн тенге в год, тогда как при извлечении только меди — 28,9 млн тенге. Ежегодный экономический эффект составляет 66,1 млн тенге. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшенко В.И., Голик В.И. Комбинированные геотехнологии предконцентрации запасов руд выщелачиванием металлов из рудного сырья // Маркшейдерия и недропользование. 2020. № 2(106). С. 16-23.
2. Чебан А.Ю., Литвинова Н.М., Богомяков Р.В., Кирильчук М.С. Расширение сырьевой базы рудников посредством концентрирования мелких фракций некондиционных руд // Маркшейдерия и недропользование. 2023. № 2(124). С. 15-19. DOI: 10.56195/20793332_2023_2_15_19.
3. Аксёнов А.В., Васильев А.А., Никитенко А.Г. Кучное выщелачивание меди из окисленных руд. особенности процесса применительно к российским климатическим условий // ВЕСТНИК ИрГТУ. 2014. №1 (84). С. 72-75.
4. Халезов, Б.Д. Исследования и разработка технологии кучного выщелачивания медных и медно-цинковых руд: дис. ... докт. тех. наук: 05.16.02 / Халезов Борис Дмитриевич. - Екатеринбург, 2009. - 548 с.
5. Bartlett R.W. Metal extraction from ores by heap leaching // Metallurgical and Materials Transactions B. 1997. Vol. 28. P. 529-545. <https://doi.org/10.1007/s11663-997-0026-2>.

6. Sun Xl., Chen Bz., Yang Xy. et al. Technological conditions and kinetics of leaching copper from complex copper oxide ore // Journal of Central South University of Technology. 2009. Vol. 16. P. 936-941 <https://doi.org/10.1007/s11771-009-0156-6>.
7. Патент 829705 СССР. Способ кучного выщелачивания медных руд. / Кунаев А.М., Бейсембаев Б.Б. и др. Опубл. 15.08.81.
8. Bar D.E., Barkat D.A Statistical approach to the experimental of the leaching of sulfide copper from the ores using lixiviant sulfuric acid // Journal of mining science. 2016. Vol. 52, Issue 3. P. 569-575. DOI: 10.1134/S1062739116030849.
9. Petersen J. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores - A brief overview // Hydrometallurgy. 2016. Vol. 165. Part 1. P. 206-212. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.09.0019>.
10. Горлова О.Е., Юн А.Б., Синянская О.М., Медяник Н.Л. Разработка и опытно-промышленные испытания комбинированной технологии переработки отвала труднообогатимых смешанных медных руд месторождения Таскора // Цветные металлы. 2018. №12. С. 14-20.
11. Денисов М.Э., Руднев Б.П., Крылова Л.Н., Кучмина Ю.С. Технология переработки медной руды Удоканского месторождения с предварительным сернокислотным выщелачиванием // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. №10. С. 100-104.
12. Захарьян С.В., Гедгагов Э.И., Юн А.Б. Повышение экологической безопасности на предприятиях цветной металлургии за счет использования сорбционных процессов // Экология и промышленность России. 2018. Т.22. №1. С. 26-32.
13. Медведев О.С., Оспанов Е.А., Шахалов А.А., Оспанов Н. А. Методы переработки техногенных минеральных образований на предприятиях ТОО «Корпорация Казахмыс» и пути их совершенствования // Материалы международной научно-практической конференции: Абишевские чтения «Инновации в комплексной переработке минерального сырья», Алматы, 2016. С. 28-31.
14. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. - Москва, 2007. - 39 с.
15. Халезов Б.Д. Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд. - Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. - 332 с.
16. Алтаев Ш.А., Жалгасов Н.Ж. Добыча меди, серебра, строительных и закладочных материалов из окисленных медных руд способом кучного выщелачивания / Проблемы, перспективы и направления социально-экономического развития Жезказганской области в условиях рыночных отношений. - Жезказган, 1994.
17. Синянская, О.М. Разработка и обоснование параметров технологии переработки смешанных медных руд Жезказганского региона: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13 / Синянская Ольга Михайловна. - Магнитогорск, 2019. - 170 с.
18. Каирбеков Ж.К., Аубакиров Е.А., Жалгасулы Н. Геотехнология в процессе выщелачивания жезказганских медистых песчаников // Промышленность Казахстана. 2017. № 1. С. 64-68.
19. Рогов А.Е., Жатканбаев Е.Е. Кинетика подземного скважинного выщелачивания урана. - Алматы: Комплекс, 2009. - 204 с.
20. Жалгасулы Н., Когут А.В., Исмаилова А.А. Исследование выщелачиваемости медных руд Жезказганского месторождения // Горные науки и технологии. 2018. №2. С. 14-22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-14-20>.

REFERENCES

1. Lyashenko V.I., Golik V.I. Combined geotechnologies of pre-concentration of ore reserves by leaching metals from ore raw materials. Surveying and subsoil use. 2020, no. 2(106), pp. 16-23. (in Russian)
2. Cheban A.Yu., Litvinova N.M., Bogomyakov R.V., Kirilchuk M.S. Expansion of the raw material base of mines by concentrating small fractions of substandard ores. Surveying and subsoil use. 2023, no. 2(124), pp. 15-19. DOI: 10.56195/20793332_2023_2_15_19. (in Russian)
3. Aksenov A.V., Vasiliev A.A., Nikitenko A.G. Heap leaching of copper from oxidized ores. Features of the process in relation to Russian climatic conditions. Bulletin of IrSTU. 2014, no. 1 (84), pp. 72-75. (in Russian)
4. Khalezov, B.D. Research and development of technology of heap leaching of copper and copper-zinc ores: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.16.02 / Khalezov Boris Dmitrievich. - Yekaterinburg, 2009. - 548 p.
5. Bartlett R.W. Metal extraction from ores by heap leaching. Metallurgical and Materials Transactions B. 1997, vol. 28. pp. 529-545. <https://doi.org/10.1007/s11663-997-0026-2>.
6. Sun Xl., Chen Bz., Yang Xy. et al. Technological conditions and kinetics of leaching copper from complex copper oxide ore. Journal of Central South University of Technology. 2009, vol. 16, pp. 936-941 <https://doi.org/10.1007/s11771-009-0156-6>.
7. Patent 829705 of the USSR. Method of heap leaching of copper ores. / Kunaev A.M., Beisembaev B. B. et al. Publ. 15.08.81. (in Russian)
8. Bar D.E., Barkat D.A Statistical approach to the experimental of the leaching of sulfide copper from the ores using lixiviant sulfuric acid. Journal of mining science. 2016, vol. 52, Issue 3, pp. 569-575. DOI: 10.1134/S1062739116030849.
9. Petersen J. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores - A brief overview. Hydrometallurgy. 2016, vol. 165, part 1, pp. 206-212. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.09.0019>.
10. Gorlova O.E., Yun A.B., Sinyanskaya O.M., Medyanik N.L. Development and pilot-industrial tests of a combined technology for processing the dump of difficult-to-enrich mixed copper ores of the Taskor deposit. Non-ferrous metals. 2018, no.12, pp. 14-20. (in Russian)
11. Denisov M.E., Rudnev B.P., Krylova L.N., Kuchmina Yu.S. Technology of processing copper ore from the Udokan deposit with preliminary sulfuric acid leaching. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2015, no.10. pp. 100-104. (in Russian)
12. Zakharyan S.V., Gedgagov E.I., Yun A.B. Improving environmental safety at non-ferrous metallurgy enterprises through the use of sorption processes. Ecology and industry of Russia. 2018, vol.22, no. 1. pp. 26-32. (in Russian)
13. Medvedev O.S., Ospanov E.A., Shakhlov A.A., Ospanov N.A. Methods of processing technogenic mineral formations at the enterprises of Kazakhmys Corporation LLP and ways of their improvement. Materials of international scientific and practical conference «Innovations in complex processing of mineral raw materials»: Abishev readings. Almaty, 2016, pp. 28-31. (in Russian)
14. Methodological recommendations for the application of Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals. Copper ores. - Moscow, 2007. - 39 p. (in Russian)

15. Khalezov B. D. Heap leaching of copper and copper-zinc ores. - Yekaterinburg: RIO UrO RAS, 2013. - 332 p. (in Russian)
16. Altaev Sh. A., Zhalgasov N. Zh. Extraction of copper, silver, building and laying materials from oxidized copper ores by heap leaching method / Problems, prospects and directions of socio-economic development of Zhezkazgan region in the conditions of market relations. Zhezkazgan, 1994. (in Russian)
17. Sinyanskaya, O.M. Development and substantiation of parameters of technology for processing mixed copper ores of the Zhezkazgan region: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.13 / Olga Sinyanskaya. - Magnitogorsk, 2019. - 170 p. (in Russian)
18. Kairbekov Zh.K., Aubakirov E.A., Zhalgasuly N. Geotechnology in the process of leaching of Zhezkazgan cuprous sandstones. Industry of Kazakhstan. 2017, no. 1, pp. 64-68. (in Russian)
19. Rogov A.E., Zhatkanbaev E. Kinetics of underground borehole leaching of uranium - Almaty, 2009. -204 p. (in Russian)
20. Zhalgasuly N., Kogut A.V., Ismailova A. A. Investigation of the leachability of copper ores of the Zhezkazgan deposit. Mining sciences and technologies. 2018, no.2, pp. 14-22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-14-20>. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Бектибаев Уайс Аамандыкович:
Исполняющий обязанности заведующего лабораторией «Физико-химические методы переработки минерального сырья», старший научный сотрудник, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан,
e-mail: uays.bektibaev@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0273-9657>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bektibaev Uajs Amandykovich:
Acting Head of the laboratory «Physico-chemical methods of processing mineral raw materials», senior researcher, D.A. Kunaev Institute of Mining, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: uays.bektibaev@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0273-9657>



Жалгасулы Нариман Жалгасович:
Заведующий отдела «Экология и безопасности горного дела», доктор технических наук, профессор, академик Международной академии «Экология», Институт горного дела им. Кунаева, г. Алматы, Казахстан,
e-mail: aliya-ismailova@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7550-9782>

Zhalgasuly Nariman Zhalgasovich:
Head of the Department «Ecology and Safety of Mining», Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the International Academy of Ecology, D.A. Kunaev Institute of Mining, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: aliya-ismailova@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7550-9782>



Исмаилова Алия Айнабековна:
Заведующая лабораторией «Экология и рациональное освоение недр», PhD, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан,
e-mail: aliya-ismailova@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5705-3363>

Ismailova Aliya Ajnabekovna:
Head of the Laboratory of «Ecology and Rational Development of Mineral Resources», PhD, D.A. Kunaev Institute of Mining, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: aliya-ismailova@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5705-3363>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION: Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.