

Код МРНТИ 52.45.29

*А.М. Шаханов, М.Б. Барменшинова
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРОБОВАНИЯ И ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНЫХ РУД

Аннотация. В статье выполнен литературный обзор современных методов опробования и экспресс-анализа продуктов флотационного обогащения медных руд. Цель работы – систематизация подходов к отбору проб в пульповых потоках и методов оперативного контроля химического состава в условиях горно-обогатительного производства. Рассмотрены принципы представительности проб, особенности флотационных продуктов, применение автоматизированных пробоотборных систем и экспресс-методов анализа, включая рентгенофлуоресцентный, лазерно-индуцированный спектральный и ближнюю инфракрасную спектроскопию. Отдельное внимание уделено интеграции аналитических систем с SCADA/MES/LIMS, метрологическому обеспечению и экологическим аспектам. Показана значимость экспресс-анализа для повышения оперативности управления процессами и снижения затрат на контроль качества в медной промышленности Казахстана.

Ключевые слова: медные руды, флотация, опробование, экспресс-анализ, автоматизация, цифровизация.

Мыс кендерін флотациялық байыту өнімдерінің опробалау әдістері мен экспресс-анықтамаларының заманауи жағдайын талдау

Аңдатпа. Мақалада мыс кендерін флотациялық байыту өнімдерін опробалау және экспресс-талдаудың заманауи тәсілдеріне әдеби шолу жасалған. Зерттеудің мақсаты – пульпа ағындарында сынама алу әдістерін және құрамды жедел бақылау құралдарын жүйелеу, сондай-ақ технологиялық бақылауды цифрландыру үрдістерін көрсету. Пробалардың өкілділігі қағидаттары, флотациялық өнімдердің ерекшеліктері, автоматтандырылған пробоотбор жүйелерін және экспресс-талдау әдістерін (XRF, LIBS, NIRS, PGNAА) қолдану, олардың артықшылықтары мен шектеулері қарастырылған. SCADA/MES/LIMS жүйелерін интеграциялау, метрологиялық қамтамасыз ету және экологиялық аспектілерге ерекше назар аударылған. Қазақстандық және шетелдік тәжірибелер салыстырылып, экспресс-талдауды енгізудің өндірістік процестерді жедел басқарудағы және сапаны бақылау шығындарын төмендетудегі практикалық әрі экономикалық маңызы көрсетілген.

Түйінді сөздер: мыс кені, флотация, опробалау, экспресс-талдау, автоматтандыру, цифрландыру.

Analysis of modern methods of sampling and express analysis of copper ore flotation products

Abstract. The article provides a literature review of modern methods for sampling and express analysis of copper ore flotation products. The aim of the study is to systematize sampling approaches in pulp streams and rapid analytical techniques used for operational process control in mineral processing. The principles of sample representativeness, specific features of flotation products, and the use of automated sampling systems are considered. Express analytical methods, including X-ray fluorescence, laser-induced breakdown spectroscopy, near-infrared spectroscopy, and neutron-based techniques, are discussed in terms of their advantages and limitations. The practical significance of express analysis for improving process control efficiency and reducing quality control costs in the copper industry of Kazakhstan is demonstrated.

Key words: copper ores, flotation, sampling, express analysis, automation.

Введение

Современная горно-металлургическая промышленность развивается в условиях растущей конкуренции, жестких экологических требований и необходимости повышения эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов. Одной из ключевых задач является обеспечение достоверности данных о составе и качестве рудных потоков на всех стадиях переработки.

Опробование и экспресс-анализ являются важнейшими элементами системы технологического контроля. От их точности и оперативности зависит качество управления процессами обогащения и конечная эффективность производства. Особое значение эти методы приобретают при флотационном обогащении медных руд, где изменчивость минералогического состава и дисперсности частиц требует высокой чувствительности и воспроизводимости аналитических методов [1].

Целью настоящей статьи является систематизация современных подходов к опробованию и экспресс-анализу флотационных продуктов медных руд, а также выявление тенденций их развития в Казахстане и за рубежом.

Теоретические основы опробования

Теория опробования базируется на принципах представительности и воспроизводимости. Согласно ГОСТ и ISO, для получения корректной информации необходимо учитывать гетерогенность минерального сырья, крупность частиц и динамику технологических пото-

ков. Важную роль играют статистические методы, позволяющие обосновывать количество и частоту проб [2, 3, 4].

На практике основной проблемой является обеспечение равномерного отбора из пульповых потоков флотации, где высокое содержание твердой фазы и турбулентный режим движения создают риск смещения проб.

Особенности флотационных продуктов

Флотационные продукты характеризуются высокой изменчивостью гранулометрического и минералогического состава. Концентрат содержит тонкодисперсные частицы меди и сопутствующие элементы (*Fe, S, As* и др.), хвосты отличаются сложным распределением частиц различной плотности.

Для таких систем простые ручные методы опробования неэффективны. Поэтому все шире применяются автоматизированные пробоотборники, обеспечивающие непрерывный и равномерный отбор материала.

Методы экспресс-анализа

Современные технологии позволяют анализировать состав рудных потоков в реальном времени, причем зачастую без отбора проб. Наибольшее распространение получили: рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) [5, 6], лазерно-искровая спектроскопия (LIBS) [7], ближняя ИК-спектроскопия (NIRS) [8] и пром-гамма-нейтронная активация (PGNAА) [6, 9].

Таблица 1
Сравнительная характеристика современных методов экспресс-анализа флотационных продуктов медных руд

Мыс кендерін флотациялық байыту өнімдерін экспресс-талдаудың заманауи әдістерінің салыстырмалы сипаттамасы

Table 1

Comparative characteristics of modern express analysis methods for copper ore flotation products

Метод	Что определяет	Преимущества	Ограничения
XRF	<i>Cu, Fe, As</i>	Оперативность, без пробоподготовки	Влияние влаги
LIBS	микрообъемы	Высокая чувствительность	Требуется калибровка
NIRS	Влажность, минералогия	Не разрушает	Нужны модели
PGNAA	Анализ «в потоке»	Идеален для конвейеров	Дороговизна

Каждый из методов имеет преимущества и ограничения, однако их интеграция обеспечивает комплексный контроль качества.

Автоматизация и цифровизация

Современные предприятия переходят к «умным фабрикам», где контроль качества встроен в цифровую систему управления. Автоматизированные пробоотборники объединяются с системами SCADA, MES, LIMS, что обеспечивает прозрачность процессов, оперативную корректировку параметров и снижение человеческого фактора [10, 11].

В Казахстане уже внедрены автоматизированные анализаторы (например, Voxrau Compact/24 (Швеция), однако зарубежные фабрики продвигаются дальше и активно используют системы с элементами машинного обучения и искусственного интеллекта.

Метрологическое обеспечение и стандарты

Ключевым условием достоверности экспресс-анализа является метрологическое обеспечение: калибровка оборудования, применение эталонных материалов, стандартизация методик. Международные стандарты ISO и национальные ГОСТы регламентируют требования к точности и воспроизводимости результатов [1, 11].

Экологические и нормативные аспекты

Экологическая безопасность становится важным фактором выбора методов анализа. Современные системы должны минимизировать отходы пробоподготовки, снижать воздействие на окружающую среду и соответствовать национальным экологическим нормам.

Зарубежный и казахстанский опыт

В Казахстане внедрение экспресс-методов и автоматизированных систем находится на стадии активного раз-

вития. Основное направление – адаптация технологий к местным условиям и снижение затрат [10, 11].

За рубежом (Австралия, Канада, Китай) применяются комплексные цифровые решения, где данные экспресс-анализа интегрируются в общие системы управления предприятием. Особое внимание уделяется прогнозной аналитике и оптимизации процессов на основе искусственного интеллекта (AI) [1, 6–8].

Практическая апробация автоматизированных систем на предприятиях Казахстана

В ТОО «Корпорация Казахмыс» на всех обогатительных фабриках для анализа исходной руды в потоке на конвейерном транспорте внедрены отечественные рудоконтролирующие станции на базе рентгенофлуоресцентных лабораторных приборов РЛП-21 (ТОО «АспапГЕО», г. Алматы).

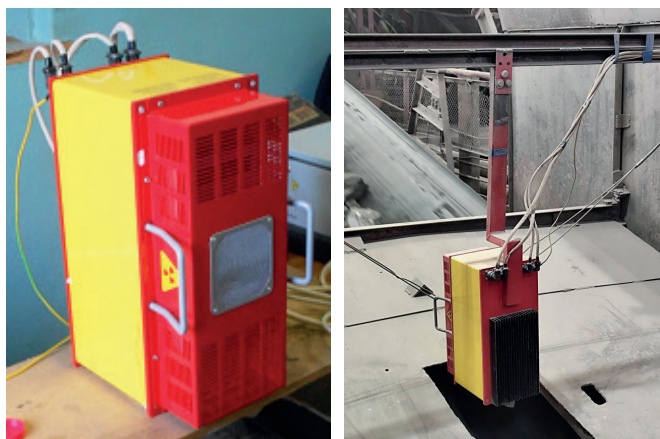


Рис. 1. Рудоконтролирующая станция: общий вид и установка на Жезказганской обогатительной фабрике № 2.

Сурет 1. Кен бақылау станциясы: жалпы көрінісі және Жезқазған байыту фабрикасы № 2-де орнатылуы.

Figure 1. Ore control station: general view and installation at Zhezkazgan processing plant No. 2.

Для оценки достоверности показаний рудоконтролирующих станций систематически выполняется сравнение с результатами химического анализа сливного опробования. Ниже в таблице 2 представлены сравнительные данные за 2024 год по Жезказганским обогатительным фабрикам №№ 1, 2 [12].

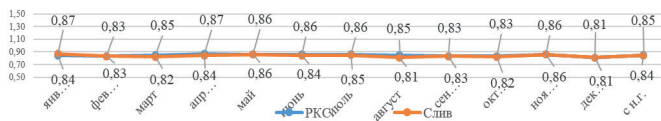


Рис. 2. График сходимости результатов по меди по данным РКС и сливного опробования по балансу в поступающем сырье.

Сурет 2. Мыс бойынша РКС деректері мен сливтен сынама алу нәтижелерінің үйлесімділік графигі.

Figure 2. Convergence graph of copper assay results based on RCS data and overflow sampling.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа данных РКС и сливного опробования

Кесте 2

РКС деректері мен сливтен сынама алу нәтижелерінің салыстырмалы талдауы

Table 2

Results of comparative analysis of ore control station data and overflow sampling

Наименование	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разниц	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница
ВЖР	0,73	0,73	0	0,70	0,69	0,01	0,69	0,64	0,05	0,69	0,63	0,06	0,71	0,67	0,04	0,71	0,69	0,02
ЮЖР	0,72	0,72	0	0,69	0,69	0	0,70	0,68	0,02	0,70	0,65	0,05	0,70	0,69	0,01	0,67	0,66	0,01
Западный	0,66	0,67	-0,01	0,65	0,64	0,01	0,72	0,68	0,04	0,68	0,63	0,05	0,70	0,67	0,03	0,69	0,67	0,02
Жиландинский	0,97	0,95	0,02	0,96	0,92	0,04	0,90	0,82	0,08	0,99	0,89	0,10	0,94	0,88	0,06	0,93	0,87	0,06
Жомарт	1,28	1,33	-0,05	1,30	1,31	-0,01	1,36	1,32	0,04	1,38	1,25	0,13	1,37	1,43	-0,06	1,36	1,36	0
Всего сырья:	0,84	0,85	-0,01	0,83	0,82	0,01	0,85	0,81	0,04	0,87	0,79	0,08	0,86	0,85	0,01	0,86	0,84	0,02

Наименование	Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Итого за 2023 г.		
	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разниц	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница	РКС	Слив	разница
ВЖР	0,73	0,69	0,04	0,66	0,62	0,04	0,66	0,67	-0,01	0,66	0,63	0,03	0,71	0,65	0,06	0,69	0,66	0,03	0,70	0,66	0,04
ЮЖР	0,70	0,68	0,02	0,71	0,68	0,03	0,69	0,64	0,05	0,62	0,62	0	0,71	0,68	0,03	0,64	0,64	0	0,68	0,67	0,01
Западный	0,67	0,63	0,04	0,71	0,67	0,04	0,68	0,70	-0,02	0,67	0,66	0,01	0,68	0,66	0,02	0,64	0,62	0,02	0,68	0,66	0,02
Жиландинский	0,98	0,90	0,08	0,90	0,75	0,15	0,87	0,75	0,12	1,02	0,84	0,18	1,09	0,96	0,13	1,02	0,95	0,07	0,96	0,87	0,09
Жомарт	1,37	1,35	0,02	1,39	1,34	0,05	1,37	1,47	-0,10	1,26	1,36	-0,10	1,22	1,34	-0,12	1,23	1,33	-0,10	1,32	1,35	-0,03
Всего сырья:	0,86	0,82	0,04	0,85	0,80	0,05	0,83	0,84	-0,01	0,83	0,81	0,02	0,86	0,84	0,02	0,81	0,81	0	0,85	0,82	0,03

Как видно из сравнения экспресс-анализ руды в потоке с помощью рудоконтролирующих станций показывает удовлетворительную сходимость и укладывается в пределы межлабораторного допуска с химическим анализом сливного опробования. В связи с чем, данные рудоконтролирующих станций на Жезказганских и Балхашской обогатительных фабриках применяют для распределения сливного металла между шахтами и рудниками, т. к. в слив гидроциклонов руда попадает уже в смеси. Кроме того, рассматривается вопрос о применении данных рудоконтролирующих станций в товарном балансе металлов. В таком случае, объем работ по опробованию и химическому анализу на сливе гидроциклонов максимально сократится, и останется лишь для периодического контроля показаний приборов и их калибровки по мере необходимости. Это позволит обеспечить оперативность получения данных о качестве перерабатываемого сырья и значительно сократить расходы на процессы контроля качества.

Положительные результаты внедрения экспресс-анализов руды на обогатительных фабриках в ТОО «Корпорация Казахмыс» позволили перейти к следующему этапу автоматизации – экспресс-анализу товарного концентрата в потоке при поступлении на медеплавильные заводы. В апреле 2024 г. на Жезказганском медепла-

вильном заводе в цехе подготовки шихты на конвейере, транспортирующем товарный концентрат, установлена рудоконтролирующая станция. Сравнительный анализ с действующим методом опробования и анализа также показывает хорошую сходимость (до 2% относительных). После набора достаточных статистических данных будет приниматься решение о применении данных экспресс-анализа в оперативном учете и оптимизации процессов контроля качества.

Обсуждение

Сравнение отечественного и зарубежного опыта показывает, что Казахстан находится на пути к цифровизации процессов пробоотбора и анализа, однако требуется ускорение внедрения интеллектуальных систем и совершенствование нормативной базы. Практические данные ТОО «Корпорация Казахмыс» подтверждают, что автоматизированные рудоконтролирующие станции обеспечивают высокую сходимость с лабораторными результатами, что позволяет использовать их для оперативного управления технологическим процессом.

Зарубежные исследования подтверждают эффективность применения on-line и in-stream аналитических систем для повышения точности и оперативности технологического контроля на обогатительных фабриках [6–8].

Заклучение

Современные методы опробования и экспресс-анализа позволяют существенно повысить точность и оперативность контроля флотационных процессов. Наиболее перспективными направлениями являются:

- развитие роботизированных пробоотборников;
- интеграция XRF, LIBS, NIRS и PGNAА в единые комплексы;

- использование цифровых платформ и AI для прогнозной аналитики;

- усиление метрологического обеспечения и соблюдение стандартов ISO/ГОСТ;

- внедрение экологически безопасных методов анализа;

- расширение применения автоматизированных систем для повышения достоверности производственного контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Уилс Б.А., Финч Ж. *Технология переработки минерального сырья (Wills' Mineral Processing Technology)*. 8-е изд.: Elsevier, 2016. 512 с. (на английском языке)
2. Гончаров А.Ф., Беклемишев А.Д. *Основы пробоотбора и пробоподготовки в обогащении руд*: Алматы: КазНТУ, 2017. 312 с. (на русском языке)
3. ГОСТ 14180-80: *Руды цветные. Методы отбора и подготовки проб*. М.: Издательство стандартов, 2005 (на русском языке)
4. ISO 3082:2017. *Железные руды – Методы отбора и подготовки проб*. Женева: ISO, 2017 (на английском языке)
5. Назарова И.В. *Рентгенофлуоресцентный анализ рудных материалов*: М.: МИСис, 2015. 218 с. (на русском языке)
6. Газдер У., Петерсон М., Эванс К. *Онлайн-элементный анализ потоков минерального сырья с использованием технологий XRF и PGNAА // Minerals Engineering*. 2018. Т. 122. С. 169–178 (на английском языке)
7. Хармон Р.С., Сэннеси Ж.С. *Лазерно-индуцированная пробойная спектроскопия (LIBS) для разведки и переработки минерального сырья // Applied Geochemistry*. 2017. Т. 77. С. 52–68 (на английском языке)
8. Лессар Ж., де Баккер Ж., Макки Д. *Поточный (on-stream) анализ в переработке минерального сырья // Minerals Engineering*. 2014. Т. 65. С. 1–10 (на английском языке)
9. Жумадилов А.Ж., Кусаинов К.Т. *Применение нейтронных методов анализа на ГОКах Казахстана // Горное оборудование и электрификация*. 2022. № 6. С. 55–60 (на русском языке)
10. Рахимжанов А.Е., Сапаров Б.К. *Автоматизация контроля качества минерального сырья // Вестник КазНТУ*. 2020. № 3. С. 65–71 (на русском языке)
11. Тасбулатов К.М., Ахметов А.С. *Современные подходы к цифровизации процессов обогащения полезных ископаемых // Горный вестник Казахстана*. 2021. № 2. С. 42–48 (на русском языке)
12. Дирекция по управлению качеством ТОО «Корпорация Казахмыс». *Отчеты о внедрении рудоконтролирующих станций на ЖОФ-1 и БОФ, Жезказган – Балхаш, Казахмыс, 2024*, 45 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Уилс Б.А., Финч Ж. *Минералды өңдеу технологиясы*. 8-басылым: Elsevier, 2016. 512 б. (ағылшын тілінде)
2. Гончаров А.Ф., Беклемишев А.Д. *Рудаларды сынама алу және сынамаларды дайындау негіздері*: Алматы: ҚазҰТЗУ, 2017. 312 б. (орыс тілінде)
3. ГОСТ 14180-80: *Түсті рудалар. Сынама алу және дайындау әдістері*. М.: Стандарттар баспасы, 2005 (орыс тілінде)
4. ISO 3082:2017. *Темір рудалары – сынама алу және сынамаларды дайындау рәсімдері*. Женева: ISO, 2017 (ағылшын тілінде)
5. Назарова И.В. *Рудалық материалдардың рентгенофлуоресценттік талдауы*: М.: МИСис, 2015. 218 б. (орыс тілінде)
6. Газдер У., Петерсон М., Эванс К. *XRF және PGNAА технологияларын қолдана отырып минералдық өңдеу ағындарын онлайн-элементтік талдау // Minerals Engineering*. 2018. Т. 122. Б. 169–178 (ағылшын тілінде)
7. Хармон Р.С., Сэннеси Ж.С. *Минералдық шикізатты барлау мен өңдеуде лазерлік индукцияланған плазмалық спектроскопияны (LIBS) қолдану // Applied Geochemistry*. 2017. Т. 77. Б. 52–68 (ағылшын тілінде)
8. Лессар Ж., де Баккер Ж., Макки Д. *Минералдық шикізатты өңдеудегі ағындық (on-stream) талдау // Minerals Engineering*. 2014. Т. 65. Б. 1–10 (ағылшын тілінде)
9. Жумадилов А.Ж., Құсайынов К.Т. *Қазақстандағы ГОК-тарда нейтрондық талдау әдістерін қолдану // Тау-кен жабдықтары және электрлендіру*. 2022. № 6. Б. 55–60 (орыс тілінде)

10. Рахимжанов А.Е., Сапаров Б.К. Минералдық шикізаттың сапасын бақылауды автоматтандыру // ҚазҰТЗУ хабаршысы. 2020. № 3. Б. 65–71 (орыс тілінде)
11. Тасбулатов К.М., Ахметов А.С. Пайдалы қазбаларды байыту процесстерін цифрландырудың заманауи тәсілдері // Қазақстанның тау-кен хабаршысы. 2021. № 2. Б. 42–48 (орыс тілінде)
12. «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС Сапаны басқару дирекциясы. ЖОФ-1 және БОФ кен бақылау станцияларын енгізу туралы есептер, Жезқазған – Балқаш, Қазақмыс, 2024, 45 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Wills B.A., Finch J. *Wills' Mineral Processing Technology*. 8th ed.: Elsevier, 2016. 512 p. (in English)
2. Goncharov A.F., Beklemishev A.D. *Osnovy probootbora i probopodgotovki v obogashchenii rud* [Fundamentals of sampling and sample preparation in ore beneficiation]. Almaty: KazNTU, 2017. 312 p. (in Russian)
3. GOST 14180-80: *Rudy tsvetnye. Metody otbora i podgotovki prob* [GOST 14180-80: Non-ferrous ores. Methods of sampling and sample preparation]. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2005 (in Russian)
4. ISO 3082:2017. *Iron ores – Sampling and sample preparation procedures*. Geneva: ISO, 2017 (in English)
5. Nazarova I.V. *Rentgenofluorestsentnyi analiz rudnykh materialov* [X-ray fluorescence analysis of ore materials]. Moscow: MISiS, 2015. 218 p. (in Russian)
6. Gazder U., Peterson M., Evans C. *On-line elemental analysis of mineral processing streams using XRF and PGNA technologies* // *Minerals Engineering*. 2018. V. 122. 169–178 pp. (in English)
7. Harmon R.S., Senesi G.S. *Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) for mineral exploration and processing* // *Applied Geochemistry*. 2017. V. 77. 52–68 pp. (in English)
8. Lessard J., de Bakker J., McKee D. *On-stream analysis in mineral processing* // *Minerals Engineering*. 2014. Vol. 65. P. 1–10 (in English)
9. Zhumadilov A.Zh., Kusainov K.T. *Primenenie neitronnykh metodov analiza na GOKakh Kazakhstana* [Application of neutron methods of analysis at Kazakhstan mining plants], *Gornoe oborudovanie i elektrifikatsiya* [Mining Equipment and Electrification]. 2022. No. 6. 55–60 pp. (in Russian)
10. Rakhimzhanov A.E., Saparov B.K. *Avtomatizatsiya kontrolya kachestva mineral'nogo syr'ya* [Automation of mineral raw material quality control], *Vestnik KazNITU* [Bulletin of KazNTU]. 2020. No. 3. 65–71 pp. (in Russian)
11. Tasbulatov K.M., Akhmetov A.S. *Sovremennye podkhody k tsifrovizatsii protsessov obogashcheniya poleznykh iskopaemykh* [Modern approaches to digitalization of mineral processing], *Gornyi vestnik Kazakhstana* [Mining Bulletin of Kazakhstan]. 2021. No. 2. 42–48 pp. (in Russian)
12. *Direktsiya po upravleniyu kachestvom TOO «Korporatsiya Kazakhmys». Otchety o vnedrenii rudokontroliruyushchikh stantsii na ZhOF-1 i BOF, Zhezkazgan – Balkhash, Kazakhmys* [Directorate for Quality Management, Kazakhmys Corporation LLP. Reports on the implementation of ore control stations at Zhezkazgan and Balkhash processing plants (ЖОФ-1 and БОФ), Zhezkazgan – Balkhash, Kazakhmys], 2024, 45 p. (in Russian)

Информация об авторах:

Шаханов А.М., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), amirhan.shahanov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-3954-9680>

Барменишинова М.Б., канд. техн. наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), m.barmenshinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шаханов А.М., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Барменишинова М.Б., техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Shakhanov A.M., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Barmenshinova M.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)