

Код МРНТИ 52.45.29

*А. М. Шаханов, М. Б. Барменшинова, Н. Токенов
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),
ТОО «АснанГЕО» (г. Алматы Казахстан)

ВНЕДРЕНИЕ ЭКСПРЕСС-РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА НЕИСТЕРТЫХ ПРОБ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНЫХ РУД

Аннотация. В статье представлен опыт внедрения метода экспресс-рентгенофлуоресцентного анализа неистертых проб продуктов флотационного обогащения медных руд на Жезказганских обогатительных фабриках №№ 1 и 2 ТОО «Корпорация Казахмыс». Для оперативного контроля содержания основных компонентов применялись портативные анализаторы РПП-12Т. Перед внедрением проведены сравнительные исследования результатов анализа неистертых проб и проб после стандартной лабораторной пробоподготовки. Статистическая обработка данных подтвердила возможность использования экспресс-анализа в производственных условиях. Показано, что метод позволяет существенно сократить время получения аналитической информации при сохранении требуемой точности для оперативного технологического контроля.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, экспресс-анализ, неистертые пробы, медные руды, флотационное обогащение, оперативный контроль.

Мыс кендерін флотациялық байытуды оперативті бақылау үшін истерілмеген үлгілерге экспресс-рентгенофлуоресценттік талдау әдісін енгізу

Аңдатпа. Мақалада «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС-нің № 1 және № 2 Жезқазған байыту фабрикаларында мыс кендерін флотациялық байыту өнімдерінің истерілмеген үлгілеріне экспресс-рентгенофлуоресценттік талдау әдісін енгізу тәжірибесі қарастырылған. Негізгі компоненттердің құрамын жедел анықтау үшін РПП-12Т портативті анализаторлары қолданылды. Әдісті енгізу алдында истерілмеген үлгілерді талдау нәтижелері стандартты зертханалық сынама дайындаудан өткен үлгілердің нәтижелерімен салыстырылды. Деректерді статистикалық өңдеу экспресс-талдау нәтижелерін өндірістік жағдайда қолдануға болатынын көрсетті. Әдіс аналитикалық деректерді алу уақытын едәуір қысқартып, жедел технологиялық бақылау үшін қажетті дәлдікті сақтауға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

Түйінді сөздер: рентгенофлуоресценттік талдау, экспресс-талдау, истерілмеген үлгілер, мыс кендері, флотациялық байыту, оперативті бақылау.

Implementation of express x-ray fluorescence analysis of coarse non-pulverized samples for operational control of copper ore flotation concentration

Abstract. The article presents the experience of implementing express X-ray fluorescence (XRF) analysis of coarse non-pulverized samples of copper ore flotation products at Concentrating Plants No. 1 and No. 2 of Kazakhmys Corporation LLP in Zhezkazgan. Portable RPP-12T XRF analyzers were used for rapid determination of the main components. Prior to implementation, analytical results from coarse non-pulverized samples were compared with those obtained after standard laboratory sample preparation. Statistical processing of the data confirmed the applicability of express analysis under industrial conditions. The method significantly reduces the time for obtaining analytical results while maintaining the accuracy required for operational process control.

Key words: X-ray fluorescence analysis, express analysis, coarse non-pulverized samples, copper ores, flotation concentration, operational control.

Введение

Современные условия горно-обогатительного производства требуют оперативного получения достоверной информации о содержании полезных компонентов в продуктах переработки минерального сырья. Сокращение временного интервала между отбором проб и получением аналитических данных является важным фактором повышения эффективности управления технологическими процессами флотационного обогащения, позволяя своевременно корректировать технологические режимы и снижать потери металлов [1].

Традиционные лабораторные методы анализа, несмотря на высокую точность, характеризуются значительными временными затратами, связанными с необходимостью проведения полной схемы пробоподготовки, включающей сушку, измельчение и истирание проб. В условиях непрерывного производства задержка получения аналитических данных снижает эффективность оперативного технологического контроля.

Одним из широко применяемых методов оперативного определения элементного состава минерального сырья и продуктов его переработки является рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) [2]. Количественный XRF-анализ базируется на использовании зависимостей взаимодействия первичного рентгеновского излучения с анализируе-

мым образцом. Используемые на практике аналитические выражения хорошо описывают зависимости интенсивностей рентгеновской флуоресценции от состава образца только для гомогенной среды [2]. Как следствие, классический количественный XRF-анализ обычно требует тщательной пробоподготовки – измельчения образца до мелкого порошка (< 100 мкм).

В настоящее время возникает обоснованный интерес к возможности использования рентгенофлуоресцентного метода для анализа неистертых, крупнодробленых порошковых проб [3, 4]. Несмотря на широкое применение РФА и развитие портативных анализаторов, большинство существующих исследований основано на анализе тщательно подготовленных проб. Применение метода для анализа неистертых проб в реальных производственных условиях изучено недостаточно. Научная новизна данной работы заключается во внедрении экспресс-метода портативного РФА для анализа грубозернистых неистертых проб непосредственно в процессе флотационного обогащения без стадии тонкого измельчения при сохранении точности, достаточной для оперативного контроля.

При анализе неистертых проб существенное влияние на точность и воспроизводимость результатов анализа оказывают такие факторы, как: гранулометрический состав образца, гетерогенность, невозможность корректного

учета изменений вещественного состава образца (эффекта матрицы), изменение геометрических условий проведения измерений, пористость образца [5]. Как следствие, необходимо в каждом конкретном случае учитывать особенности анализируемого объекта анализа и принимать меры, минимизирующие влияния указанных факторов, а также оптимизировать процедуру нахождения градуировочных характеристик прибора [6].

В связи с вышеизложенным, актуальной задачей является внедрение экспресс-рентгенофлуоресцентного метода анализа неистертых проб медного производства, обеспечивающего существенное сокращение времени получения аналитических данных и достижение точности, достаточной для оперативного управления технологическим процессом флотационного обогащения.

Выбор и методика настройки рентгенофлуоресцентного анализатора

Исследование проводилось на продуктах флотационного обогащения медных руд, включая руду и хвосты, отобранные на действующих обогатительных фабриках. Пробы характеризовались крупностью частиц до 2 мм. Измерения проводились с использованием портативного РФА-анализатора РПП-12Т производства ТОО «Аспап-ГЕО». Пробы помещались непосредственно в стандартные кюветы без измельчения. Каждая проба измерялась однократно. Особое внимание уделялось равномерности заполнения.

Для повышения качества анализа неистертых крупнозернистых проб необходимо:

- с целью уменьшения влияния на результаты анализа гранулометрического состава увеличивать площадь анализируемого материала, т. е. либо проводить несколько измерений в разных точках и использовать среднее значение найденных содержаний, либо использовать приборы с большой площадью засветки анализируемого образца;

- для обеспечения более корректного учета эффекта матрицы, минимизации влияния изменений геометрических условий проведения измерений, пористости, градиента плотности и гранулометрического состава образца, использовать фундаментальные зависимости взаимодействия рентгеновского излучения с веществом, в том числе для рассеянного излучения;

- для повышения воспроизводимости результатов измерений использовать измерительные кюветы с однотипным способом насыпки, уплотнения и разравнивания анализируемого образца.

Выбор рентгенофлуоресцентного анализатора РПП-12Т обусловлен тем, что, в отличие от других портативных приборов, он имеет большую площадь облучаемой поверхности анализируемого образца, а его вычислительные возможности и аналитическое программное обеспечение позволяют реализовать выбранные методические подходы. При этом при проведении измерений в кюветах, входящих в комплект поставки, обеспечивается такая же защита от рентгеновского излучения, как в стационарных лабораторных приборах.

В процессе настройки прибора РПП-12Т для анализа неистертых проб корректировка градуировочных коэф-

фициентов по основному (*Cu*) и сопутствующим элементам (*Pb*, *Zn* и *Fe*) осуществлялась по результатам анализа на лабораторном приборе тех же проб после стандартной пробоподготовки.

Результаты и обсуждение

Для оценки возможности применения результатов экспресс-анализа неистертых проб на приборе РПП-12Т в производственных целях была проведена серия испытаний.

Таблица 1

Исходные экспериментальные данные по *Cu*

Кесте 1

***Cu* туралы алғашқы тәжірибелік мәліметтер**

Table 1

Initial experimental data on *Cu*

Проба №	Лаборатория (прибор РПП-21), % <i>Cu</i>	РПП-12Т, % <i>Cu</i>
59	0.71	0.66
60	0.67	0.67
61	0.71	0.68
62	0.72	0.68
63	0.69	0.68
64	0.64	0.61
85	0.91	0.93
86	0.99	0.91
87	0.69	0.68
88	1.08	1.04
89	1.05	1.0
90	0.69	0.7
91	1.12	1.07
92	1.26	1.19
93	0.72	0.7
48	0.093	0.097
49	0.093	0.097
50	0.068	0.065
51	0.085	0.083
52	0.093	0.097
53	0.26	0.27
54	0.198	0.198
55	0.098	0.089
56	0.104	0.098
57	0.089	0.086
36	0.09	0.089
39	0.073	0.073
40	0.079	0.079
41	0.064	0.06
100	0.087	0.092
101	0.069	0.069
102	0.087	0.069
103	0.069	0.072



Рис. 1. Неистертая проба, уплотненная в аналитическую кювету.

Сурет 1. Ұнтақталмаған, аналитикалық кюветаға тығыздалған сынама.

Figure 1. Non-ground sample compacted in an analytical sample cup.

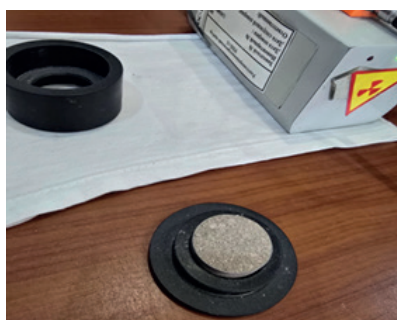


Рис. 2. Кювета с пробой, установленная в измерительную подставку.

Сурет 2. Сынама салынған кювета өлшеуіш тұғырғ орнатылған.

Figure 2. Sample cup with the sample placed in the measurement stand.



Рис. 3. Портативный рентгенофлуоресцентный анализатор РПП-12Т в процессе измерения.

Сурет 3. РПП-12Т портативті рентгенфлуоресценттік анализаторы өлшеу процесінде.

Figure 3. RPP-12T portable X-ray fluorescence analyzer during measurement.

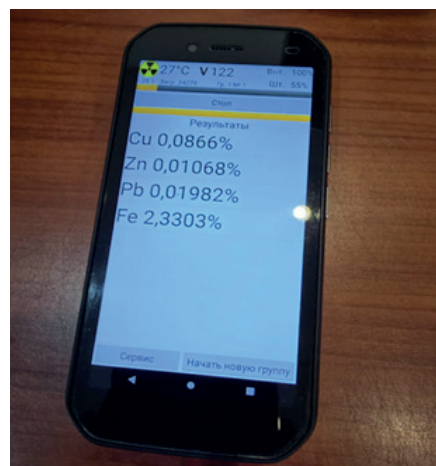


Рис. 4. Блок управления и обработки результатов измерений на базе Android с отображением результатов анализа.

Сурет 4. Талдау нәтижелері көрсетілген Android негізіндегі басқару блогы.

Figure 4. Android-based control unit displaying analysis results.

Таблица 2

Статистическая оценка точности экспресс-анализа *Cu*

Кесте 2

Cu экспресс анализінің дәлдігін статистикалық бағалау

Table 2

Statistical evaluation of the accuracy of rapid analysis of *Cu*

Показатель	
Среднее абсолютное отклонение, % <i>Cu</i>	0,018
Стандартное отклонение, % <i>Cu</i>	0,024
Дисперсия	0,000593
Коэффициент корреляции R^2	0,998
<i>P</i> -значение	0,002

Результаты показывают высокую корреляцию ($R^2 = 0,998$) и малый разброс данных. Несмотря на статистически значимые различия ($p = 0,002$), их величина не превышает допустимые значения для оперативного контроля.

Ограничения и область применимости метода

Следует учитывать, что предложенный метод экспресс-анализа неистертых проб не предназначен для замены лабораторных анализов, используемых при расчете товарного баланса металлов или коммерческих расчетах и сертификации продукции. Основной областью применения метода является оперативный технологический контроль, требующий высокой скорости получения данных при допустимой для управления процессом точности.

Кроме того, корректность применения метода определяется стабильностью гранулометрического состава анализируемого материала и требует предварительной адап-

тации приборов к конкретным условиям производства [6, 7, 8]. В условиях Жезказганских обогатительных фабрик №№ 1 и 2 метод экспресс-анализа применяется для определения содержания компонентов в часовых пробах продуктов обогащения. Сменные пробы, используемые для балансового учета, обрабатываются по традиционной лабораторной схеме и служат для контроля корректности результатов экспресс-анализа путем усреднения данных часовых проб, что соответствует рекомендациям по обеспечению достоверности аналитического контроля в производственных условиях [9, 10, 11].

Сравнение с традиционной схемой аналитического контроля

При традиционной схеме аналитического контроля общее время получения результатов включает этапы сушки, измельчения, истирания и лабораторного анализа, что в условиях производственной лаборатории занимает несколько часов. В случае с экспресс-лабораторией Жезказганских обогатительных фабрик №№ 1 и 2 среднее время составляет 2 часа. Применение экспресс-рентгенофлуоресцентного анализа неистертых проб позволяет исключить наиболее трудоемкие этапы пробоподготовки и сократить время до 50 минут [12].

При объеме 3000 проб в месяц пробоподготовка требует около 3000 человеко-часов, что соответствует 20–21 сотруднику. При средней заработной плате 1000 USD суммарные трудозатраты составляют около 20 000 USD в месяц.

Кроме того, требуется использование не менее двух истирателей (~10 000 USD).

Таким образом, внедрение метода позволяет существенно снизить данные затраты.

Выводы

1. Внедрен метод экспресс-рентгенофлуоресцентного анализа неистертых проб продуктов флотационного обогащения, обеспечивающий получение аналитической информации в сжатые сроки.

2. Внедрение метода позволило существенно сократить время получения аналитических данных за счет исключения стадий измельчения и истирания проб.

3. Дополнительно достигнута экономия трудозатрат и ресурсов пробоподготовительного оборудования, а также сокращение потребления электроэнергии и расходных материалов, что повышает общую ресурсную эффективность аналитического контроля.

4. Метод рекомендован для оперативного технологического контроля на обогатительных фабриках при условии предварительной адаптации приборов к конкретным условиям производства.

5. Полученные результаты подтверждают возможность тиражирования разработанного подхода на другие обогатительные фабрики. В частности, в 2026 году планируется внедрение метода экспресс-анализа неистертых проб на Балхашской обогатительной фабрике после проведения соответствующих калибровочных и верификационных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абдрахманова З. Т., Шаханов А. М., Нургалиев Д. К., Ефименко С. А. On-line мониторинг вещественного состава руд на Жезказганских обогатительных фабриках ТОО «Корпорация Казахмыс» // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы XIII Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: в 2 т. Т. 1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 328–33 (на русском языке)
2. Jenkins R. Количественный рентгенофлуоресцентный анализ. – Бока-Ратон: CRC Press, 1995. – С. 45–60 (на английском языке)
3. Влияние гранулометрического состава на результаты рентгенофлуоресцентного анализа таблетированных проб / Z. Mzyk [и др.] // X-Ray Spectrometry. – 2002. – С. 120–125 (на английском языке)
4. Laperche V. и др. Оценка применимости портативного рентгенофлуоресцентного анализа для руд и продуктов их переработки. – 2014. – С. 75–90 (на английском языке)
5. Коррекция матричных эффектов при портативном рентгенофлуоресцентном анализе минерального сырья / J. Lu [и др.] // Applied Sciences. – 2022. – С. 3–10 (на английском языке)
6. Калибровка портативных рентгенофлуоресцентных анализаторов: методика и практические аспекты / A. C. Da Silva [и др.] // Coordination Chemistry Reviews. – 2023. – С. 150–170 (на английском языке)
7. Использование и калибровка портативных рентгенофлуоресцентных анализаторов для геохимических применений // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2017. – С. 25–40 (на английском языке)
8. Влияние размера частиц и влажности на результаты рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) / I. Ben Amar [и др.] // Scientific Reports. – 2022. – С. 5–12 (на английском языке)
9. ИСО 9516-1. Железные руды. Определение содержания элементов методом рентгенофлуоресцентного анализа (на английском языке)
10. Агентство по охране окружающей среды США (EPA). Метод 6200: полевой портативный рентгенофлуоресцентный спектрометрический метод определения элементного состава в почвах и донных отложениях. – Вашингтон, 2007 (на английском языке)
11. ASTM E1621. Стандартное руководство по элементному анализу методом волноводного рентгенофлуоресцентного анализа (на английском языке)

12. Аналитический отчет о внедрении метода экспресс-рентгенофлуоресцентного анализа неустертых проб / Лаборатория рентгеноспектрального анализа Жезказганских обогатительных фабрик № 1, 2 Управления технического и аналитического контроля Департамента технического контроля Дирекции по управлению качеством ТОО «Корпорация Казахмыс». – Жезказган, 2025. – С. 10–15 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕРДІҢ ТІЗІМІ

1. Абдрахманова З. Т., Шаханов А. М., Нургалиев Д. К., Ефименко С. А. «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС Жезқазған байыту фабрикаларында кендердің заттық құрамын On-line режимінде мониторингтеу // Тау-кен өнеркәсібінің, құрылыс пен энергетиканың әлеуметтік-экономикалық және экологиялық мәселелері : тау-кен өнеркәсібі, құрылыс және энергетика мәселелері бойынша XIII халықаралық конференция материалдары: 2 т. Т. 1. – Тула: ТулМУ баспасы, 2017. – Б. 328–335 (орыс тілінде)
2. Jenkins R. Сандық рентгенфлуоресценттік талдау. – Бока-Ратон: CRC Press, 1995. – Б. 45–60 (ағылшын тілінде)
3. Үлгілердің түйіршік өлшемінің рентгенфлуоресценттік талдау нәтижелеріне әсері / Z. Mzyk [және т. б.] // X-Ray Spectrometry. – 2002. – Б. 120–125 (ағылшын тілінде)
4. Laperche V. және т. б. Кендер мен байыту өнімдерін портативті рентгенфлуоресценттік әдіспен талдаудың қолданылу мүмкіндігін бағалау. – 2014. – Б. 75–90 (ағылшын тілінде)
5. Минералдық шикізатты портативті рентгенфлуоресценттік талдау кезінде матрицалық әсерлерді түзету / J. Lu [және т. б.] // Applied Sciences. – 2022. – Б. 3–10 (ағылшын тілінде)
6. Портативті рентгенфлуоресценттік анализаторларды калибрлеу: әдістеме және тәжірибелік аспектілер / A. C. Da Silva [және т. б.] // Coordination Chemistry Reviews. – 2023. – Б. 150–170 (ағылшын тілінде)
7. Геохимиялық зерттеулерде портативті рентгенфлуоресценттік анализаторларды қолдану және калибрлеу // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2017. – Б. 25–40 (ағылшын тілінде)
8. Бөлшек өлшемі мен ылғалдылықтың XRF талдау нәтижелеріне әсері / I. Ben Amar [және т. б.] // Scientific Reports. – 2022. – Б. 5–12 (ағылшын тілінде)
9. ISO 9516-1. Темір кендері. Рентгенфлуоресценттік әдіспен элементтерді анықтау (ағылшын тілінде)
10. АҚШ Қоршаған ортаны қорғау агенттігі. 6200-әдіс: портативті рентгенфлуоресценттік спектрометрия. – Вашингтон, 2007 (ағылшын тілінде)
11. ASTM E1621. Толқындық рентгенфлуоресценттік талдау бойынша стандартты нұсқаулық (ағылшын тілінде)
12. Истерілмеген үлгілерді экспресс-рентгенфлуоресценттік талдау әдісін енгізу жөніндегі аналитикалық есеп / Жезқазған байыту фабрикалары № 1, 2 рентгеноспектралдық талдау зертханасы, Техникалық және аналитикалық бақылау басқармасы, Сапаны басқару дирекциясы, «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС. – Жезқазған, 2025. – Б. 10–15 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Abdrakhmanova Z. T., Shakhmanov A. M., Nurgaliev D. K., Efimenko S. A. On-line monitoring veshchestvennogo sostava rud na Zhezkazganskikh obogatitel'nykh fabrikakh TOO «Korporatsiya Kazakhmys» [Online monitoring of the material composition of ores at the Zhezkazgan concentrating plants of Kazakhmys Corporation LLP]. Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki : materialy XIII Mezhdunar. konf. po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki [Socio-economic and environmental problems of the mining industry, construction, and energy: proceedings of the XIII International Conference on Problems of the Mining Industry, Construction, and Energy]. In 2 vols. Vol. 1. – Tula: Izdatel'stvo TulGU, 2017. – P. 328–335 (in Russian)
2. Jenkins R. Quantitative X-Ray Spectrometry. – Boca Raton: CRC Press, 1995. – P. 45–60 (in English)
3. Grain size effect on XRF analysis of pelletized samples / Z. Mzyk et al. // X-Ray Spectrometry. – 2002. – P. 120–125 (in English)
4. Laperche V. et al. Assessment of portable X-ray fluorescence analysis for ores and processing products. – 2014. – P. 75–90 (in English)
5. Matrix effect correction in portable X-ray fluorescence analysis of mineral raw materials / J. Lu et al. // Applied Sciences. – 2022. – P. 3–10 (in English)
6. Portable X-ray fluorescence calibrations: workflow and practical aspects / A. C. Da Silva et al. // Coordination Chemistry Reviews. – 2023. – P. 150–170 (in English)
7. Use and calibration of portable X-ray fluorescence analyzers for geochemical applications // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2017. – P. 25–40 (in English)
8. Particle size and moisture effects on XRF measurements / I. Ben Amar et al. // Scientific Reports. – 2022. – P. 5–12 (in English)
9. ISO 9516-1. Iron ores – Determination of elements by X-ray fluorescence spectrometry (in English)
10. U.S. Environmental Protection Agency. Method 6200: Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry. – Washington, 2007 (in English)

11. ASTM E1621. Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry (in English)
12. Analiticheskii otchet o vnedrenii metoda ekspress-rentgeno fluoressentnogo analiza neistertykh prob [Analytical Report on the Implementation of Express X-Ray Fluorescence Analysis of Non-Ground Samples]. Laboratoriya rentgenospektral'nogo analiza Zhezkazganskikh obogatitel'nykh fabrik № 1, 2 Upravleniya tekhnicheskogo i analiticheskogo kontrolya Departamenta tekhnicheskogo kontrolya Direktsii po upravleniyu kachestvom TOO «Korporatsiya Kazakhmys» [X-Ray Spectral Analysis Laboratory of Zhezkazgan Concentrators No. 1 and 2, Technical and Analytical Control Department, Quality Management Directorate, Kazakhmys Corporation LLP]. – Zhezkazgan, 2025. – P. 10–15 (in Russian)

Информация об авторах:

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

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

Токенов Н. М., зам. директора ТОО «АспапГЕО», магистр естественных наук, механик, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), nurik.ng@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-3379-4075>

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Барменишинова М. Б., т. ф. к., қауымдастырылған профессор, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Токенов Н. М., «АспапГЕО» ЖШС директорының орынбасары, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, механик, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Shakhanov A. M., 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)

Tokenov N. M., Deputy Director of AspapGEO LLP, Master of Natural Sciences, Mechanical Engineer, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2026

РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

СОТРУДНИЧЕСТВО

Узнайте больше
на сайте:



Instagram:



Консультация
в WhatsApp:

