

Код МРНТИ 52.35.29

*D. Baimolda¹, S. Lennik², N. Aytan³, E.R. Khalikova⁴¹Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan),²Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan),³Aisaf Private Girls' School, Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan),⁴NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

STUDY OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE COMPOSITION OF THE SHUBARKOL COAL BY X-RAY FLUORESCENCE METHOD

Abstract. This article talks about ways to use analytical methods in the study of the chemical composition of coal, which is the main source of energy for the developing countries of the world. It is known that coal production in the world has been developing very intensively in recent years. In this regard, the issue of using analytical methods in coal production is on the agenda. Also, it is said that with the help of analytical methods based on physical phenomena such as X-ray, gamma ray and neutron interaction, it is possible to evaluate the quality of coal before burning it. The article describes how to study and monitor the coal ash content in the mine before it is mined, using X-ray fluorescence, one of the most suitable analytical methods.

Key words: analytical method, coal, X-ray, coal ash, microelement, gamma ray, sulfur.

Шұбаркөл көмірінің құрамындағы химиялық элементтерді рентген-флуоресценттік әдіспен зерттеу

Аннотация. Бұл мақалада дамушы елдер үшін негізгі энергия көзі болып табылатын көмірдің химиялық құрамын зерттеуде аналитикалық әдістерді қолдану жолдары қарастырылады. Соңғы жылдары әлемде көмір өндіру қарқынды түрде дамып келе жатқаны белгілі. Осыған байланысты көмір өндірісінде аналитикалық әдістерді қолдану мәселесі өзекті болып отыр. Сонымен қатар рентген, гамма-сәуле және нейтрондардың өзара әрекеттесуі сияқты физикалық құбылыстарға негізделген аналитикалық әдістердің көмегімен көмірдің сапасын оны жағар алдында бағалауға болатыны айтылған. Мақалада ең қолайлы аналитикалық әдістердің бірі – рентген-флуоресценттік талдау арқылы көмірді өндіруге дейін кен орнында оның күл құрамын зерттеу және бақылау жолдары сипатталады.

Түйінді сөздер: аналитикалық әдіс, көмір, рентген, көмір күлінің мөлшері, микроэлемент, гамма-сәуле, күкірт.

Исследование химических элементов в составе Шубаркульского угля методом рентгенофлуоресцентного анализа

Аннотация. В статье рассматриваются способы применения аналитических методов при изучении химического состава угля, который является основным источником энергии для развивающихся стран мира. Известно, что производство угля в мире в последние годы развивается очень интенсивно. В связи с этим вопрос использования аналитических методов в угольной промышленности выходит на первый план. Также отмечается, что с помощью аналитических методов, основанных на физических явлениях, таких как взаимодействие рентгеновских лучей, гамма-лучей и нейтронов, можно оценивать качество угля до его сжигания. В статье описывается, как изучать и контролировать зольность угля при его добыче, используя рентгенофлуоресцентный анализ, один из наиболее подходящих аналитических методов.

Ключевые слова: аналитический метод, уголь, рентген, зола угля, микроэлемент, гамма-луч, сера.

Introduction

The fact that modern electric heating stations are becoming larger and larger, and water – boiling boilers are starting to work in high temperature conditions, is increasing the interest of specialists in the mineral substances contained in the main fuel needed for these stations-coal. Corrosion of boilers and hot water pipes at high temperatures is largely due to sulfur, chlorine, alkali elements and ash content of coal. When coal is burned in electric heating stations, carbon dioxide and other toxic gases are released into the sky. These gases not only pollute the air, but also heat the atmosphere more and more. Therefore, the countries of the world began to worry about this and sound the alarm. Therefore, it is clear that coal users and coal producers want to know about the mineral substances contained in coal and toxic and harmful substances that are formed after burning coal [1, 2].

Previously, such elements as *C, H, O, N, S, Si, Fe, Al, K, Ca, Mg* in coal and coal were identified by chemical research. And if the micro-element content in coal is -0.1% or even lower, then it would be difficult to study it chemically. Therefore, the way to solve this problem is that the study of the elemental composition of coal by the method of X-ray fluorescence, which is a method of nuclear physics, is gaining wide application. Such research works are widely covered in such European countries as Germany, the Czech Republic and Poland. Kazakhstan is rich in coal, so it is important to use lightweight portable X-ray fluorescence spectrometers in coal fields to regularly check and evaluate the quality of coal seams. This is one of the important tasks of our time [3, 4].

From the point of view of environmental protection and environmental conservation, this will also be very important. Registration of X-ray of sulfur 2.308 keV S-K α , measurement work has been widely studied and discussed in the works of a number of foreign scientists [5–7]. According to these works, a good result was achieved after the corresponding adjustments were made mathematically due to the effect of the influence of the elements contained in coal on each other. When determining sulfur, iron, ash and other elements in coal using the classical chemical method, a large number of chemical reagents are required and other materials take a long time. And in the work of a number of scientists, it has been shown that using the method of X-ray fluorescence research (XFR), it is possible to detect not only sulfur, iron, but also more elements at the same time, with great accuracy [8, 9].

Due to its ecological importance, one of the most studied and most recorded elements in coal will be sulfur (*S*). The sulfur content in coal averages 10–12% of the total mass. Coal ash is the mineral substances contained in coal that do not burn when it is burned. The more minerals are contained in coal, the higher its ash content. Coal ash mainly consists of compounds of elements such as silicon, aluminum, iron, calcium, magnesium, titanium, and potassium [1, 2].

Research on the composition of coal ash using nuclear physics methods has been conducted with great intensity over the past 20 years, the work of many research scientists has been published in this field, as well as new research techniques and methods have been introduced [9–11].

Research methods and results

During the work on determining the elements in coal and coal ash by X-ray fluorescence, a sample of Shubarkul coal was taken as an object (UG-1) (Figure 1). The elemental composition of these samples was determined using an «energy-dispersive X-ray fluorescence device with an XFD-21 semiconductor detector» in the Laboratory of Nuclear Physics Analysis Methods at the Institute of Nuclear Physics in Almaty. At first, the coal was prepared by grinding in a special device. The obtained samples were placed in a mold and examined on an energy-dispersive X-ray fluorescence device with an XFD-21 semiconductor detector, showing the following results (Figure 2).

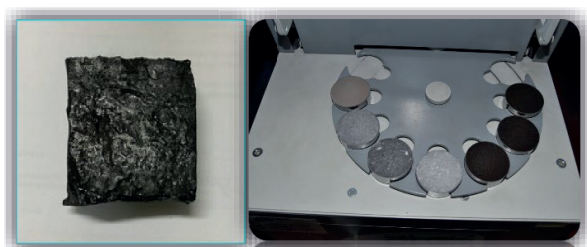


Figure 1. UG-1 Shubarkul coal sample.
Сурет 1. UG-1 Шұбаркөл көмір үлгісі.
Рис. 1. Образец Шубаркөлского угля UG-1.

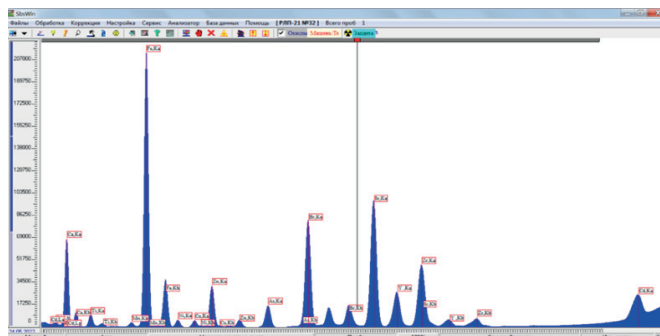


Figure 2. X-ray spectrum of the Shubarkul coal sample UG-1.

Сурет 2. Шубаркөл кен орны UG-1 көмір үлгісінің рентген спектрі.

Рис. 2. Рентгеновский спектр образца угля UG-1 Шубаркөлского угольного месторождения.

In these studies, using an energy-dispersive X-ray fluorescence device with a semiconductor detector, it is possible to observe more than 100 gamma-ray peaks in the spectrum corresponding to 31 elements in carbon, such as *Sr, Ag, Se, Fe, Nb, Ni, K, Th, Cu* and others. However, the main disadvantage of this method is that the research instrument used is designed

Table 1
Indicators (mass fractions) for the determination of chemical elements in a crushed UG-1 Shubarkul coal sample taken as a standard by X-ray fluorescence analysis (additional Z = 1.19, total amount: 0.97%, number of elements: 31)

Кесте 1

Стандарт ретінде алынған Шұбаркөл кен орны UG-1 көмірінің ұсақталған үлгісін рентген-флуоресценциялы талдау арқылы химиялық элементтерді анықтау көрсеткіштері (қосымша Z = 1.19, жалпы сомасы: 0.97%, элементтер саны: 31)

Таблица 1

Показатели (массовые доли) для определения химических элементов в измельченном образце угля UG-1 с Шубаркөлского угольного месторождения, взятом в качестве стандарта, методом рентгенофлуоресцентного анализа (дополнительный Z = 1.19, суммарное содержание: 0.97%, количество элементов: 31)

Element	Indicator (mass fractions)	Element	Indicator (mass fractions)
<i>Fe</i>	0.1731±0.00049%	<i>Cu</i>	0.00211±0.000065%
<i>Zn</i>	0.00222±0.000041%	<i>Pb</i>	< 0.0001±0.000042%
<i>Ag</i>	0.9±0.01 г/т	<i>Cd</i>	2.1±0.02 г/т
<i>Th</i>	0.2±0.02 г/т	<i>U</i>	1.0±0.02 г/т
<i>K</i>	0.30±0.023%	<i>CaO</i>	0.435±0.0139%
<i>Se</i>	< 0.0001±0.0048%	<i>Ti</i>	0.029±0.0025%
<i>V</i>	< 0.0001±0.00092%	<i>Cr</i>	0.0010±0.00049%
<i>Mn</i>	< 0.01±0.00026%	<i>Co</i>	0.0007±0.00018%
<i>Ni</i>	< 0.0001±0.00011%	<i>Ga</i>	< 0.0001±0.000027%
<i>As</i>	<0.0001±0.00011%	<i>Se</i>	< 0.0001±0.000018%
<i>Br</i>	0.00119±0.000029%	<i>Rb</i>	< 0.0001%
<i>Sr</i>	0.00294±0.000012%	<i>Y</i>	0.00%
<i>Zr</i>	0.00%	<i>Nb</i>	< 0.0001%
<i>Mo</i>	< 0.0001%	<i>Pd</i>	< 0.1 г/т
<i>BaSO4</i>	0.02±0.001%	<i>W</i>	< 0.0001±0.00011%
<i>Bi</i>	< 0.0001±0.000035%		

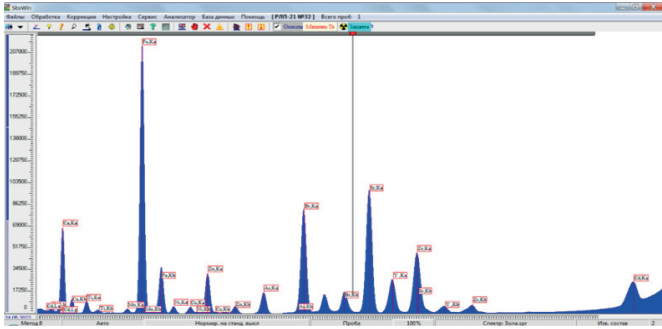


Figure 3. X-ray spectrum of the Shubarkul coal ash sample UG-1.

Сурет 3. Шубарколь кен орны UG-1 көмір күл үлгісінің рентген спектрі.

Рис. 3. Рентгеновский спектр образца угольной золы UG-1 Шубаркольского угольного месторождения.

to study rocks, and therefore it is not able to identify many elements. Compared to coal, the composition of the elements in the coal ash was determined more accurately (Figure 3).

Conclusions

If we compare the indicators (mass fractions) from Tables 1 and 2, the iron (*Fe*) content in Shubarkul coal samples is $Fe = 0.1731 \pm 0.00049\%$, whereas in Shubarkul coal ash the iron (*Fe*) content is $Fe = 3.12 \pm 0.003\%$. Therefore, the absolute difference can be calculated using the formula: $FeI = \text{summa}(Fe(UG-1) - Fe(\text{ash}))/N$. and it turns out that $FeI = 2.9469 \pm 0.00251\%$.

In this study, it was noted that an energy-dispersive X-ray fluorescence device with a semiconductor detector «XFD-21» makes it possible to determine the composition of coal ash more accurately and visually than the composition of coal itself.

Table 2

Indicators (mass fractions) for the determination of chemical elements by X-ray fluorescence analysis (XFA) in the ash of a UG-1 Shubarkul coal sample taken as a standard (additional $Z = 1,19$, total amount: 0.97%, number of elements: 31)

Кесте 2

Стандарт ретінде алынған Шубарколь кен орны UG-1 көмір үлгісінің күлін рентген-флуоресценциялы талдау арқылы химиялық элементтерді анықтау көрсеткіштері (қосымша $Z = 1,19$, жалпы сомасы: 19,70%, элементтер саны: 31)

Таблица 2

Показатели (массовые доли) для определения химических элементов в золе образца угля UG-1 Шубаркольского угольного месторождения, взятого в качестве стандарта, методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) (дополнительный $Z = 1,19$, суммарное содержание: 19,70%, количество элементов: 31)

Element	Indicator (mass fractions)	Element	Indicator (mass fractions)
<i>Fe</i>	$3.12 \pm 0.003\%$	<i>Cu</i>	$0.0296 \pm 0.00017\%$
<i>Zn</i>	$0.1210 \pm 0.00023\%$	<i>Pb</i>	$0.0412 \pm 0.00014\%$
<i>Ag</i>	0.6 ± 0.2 г/т	<i>Cd</i>	101.1 ± 0.03 г/т
<i>Th</i>	10.5 ± 0.6 г/т	<i>U</i>	6.8 ± 0.4 г/т
<i>K</i>	$0.59 \pm 0.022\%$	<i>CaO</i>	$14.48 \pm 0.033\%$
<i>Se</i>	$< 0.0001 \pm 0.012\%$	<i>Ti</i>	$0.679 \pm 0.0056\%$
<i>V</i>	$0.012 \pm 0.0029\%$	<i>Cr</i>	$0.0140 \pm 0.00083\%$
<i>Mn</i>	$0.066 \pm 0.0006\%$	<i>Co</i>	$0.0083 \pm 0.00074\%$
<i>Ni</i>	$0.0256 \pm 0.00022\%$	<i>Ga</i>	$0.00175 \pm 0.000075\%$
<i>As</i>	$0.0087 \pm 0.00011\%$	<i>Se</i>	$0.00026 \pm 0.000032\%$
<i>Br</i>	$0.1128 \pm 0.00013\%$	<i>Rb</i>	$0.00182 \pm 0.0001\%$
<i>Sr</i>	$0.06935 \pm 0.000071\%$	<i>Y</i>	$0.01634 \pm 0.000036\%$
<i>Zr</i>	$0.01978 \pm 0.000043\%$	<i>Nb</i>	$0.00132 \pm 0.000017\%$
<i>Mo</i>	$0.00132 \pm 0.000018\%$	<i>Pd</i>	0.1 ± 0.1 г/т
<i>BaSO4</i>	$0.0309 \pm 0.0033\%$	<i>W</i>	$< 0.0001 \pm 0.00039\%$
<i>Bi</i>	$0.0003 \pm 0.00015\%$		

REFERENCES

- Baimolda D., Application of X-ray fluorescence analysis in the coal industry: Monograph: Almaty: Ulagat, 2018. 160 p. (in English)
- Baimolda D, Cechak T, Kulbek M, Aytan N, Shyngysova S. (June 5, 2023). Investigation of concentric-zonal color effects in polyphase ceramic samples by X-ray fluorescence analysis. Review of Scientific Instruments. <https://doi.org/10.1063/5.0144815> (in English)

3. Junussov M., Mustapayeva S. (November 17, 2024). Preliminary XRF Analysis of Coal Ash from Jurassic and Carboniferous Coals at Five Kazakh Mines: Industrial and Environmental Comparisons. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app142210586> (in English)
4. Development and application of coal quality intelligent inspection system based on NIRS-XRF technology / Gao R. [et al.] // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2025. No. 40. 1069–1085 pp. (in English)
5. Safda I., Subhani Q., Muhammad N., Hussain I. (October 2025). Investigation of physicochemical properties and leaching behavior of coal fly ash and bottom ash by using XRF and AAS: Multivariate analysis. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107272> (in English)
6. Junussov M., Tarikhov F., Abildakhanov A., Zhanaidar D., Mekenbek G., Assambayeva A. (November 28, 2024). Mineralogical and elemental analysis of Kazakh coals from three mines: Preliminary insights from mode of occurrence to environmental impacts. *Open Geosciences*. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0721> (in English)
7. Khan Z., Bibi S. Removal of trace elements from Thar coal to minimize its hazardous effect on the environment // *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016. V. 49. No. 1. 50–57 pp. (in English)
8. Structural difference of gas coal separation components and its effect on sulfur transformation during pyrolysis of high sulfur coal / Cheng C. [et al.] // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2021. V. 49. No. 9. 1219–1230 pp. (in English)
9. Revenko A., Pashkova G. Study of the chemical composition of coal and coal ash by X-ray fluorescence method: A review // *X-Ray Spectrometry*. 2024. No. 54. 159–170 pp. (in English)
10. Integrated Compositional Modeling and Machine Learning Analysis of REE-Bearing Coal Ash from a Weathered Dumpsite / Nadirov R. [et al.] // *Minerals*. 2025. No. 15. 1–19 pp. (in English)
11. Wang S., Cao S., Li S. (February 1, 2026). Advances in rapid spectroscopic methods for coal analysis: Principles, key techniques, and emerging measurement challenges. *Measurement*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119493> (in English)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Баймолда Д. Көмір өнеркәсібінде рентген-флуоресценттік талдауды қолдану: монография: Алматы: Ұлағат, 2018. 160 б. (ағылшын тілінде)
2. Баймолда Д., Чехак Т., Күлбек М., Айтан Н., Шыңғысова С. (5 маусым 2023). Көпфазалы керамикалық үлгілердегі концентрлі-аймақтық түстік әсерлерді рентген-флуоресценттік талдау арқылы зерттеу. *Review of Scientific Instruments*. <https://doi.org/10.1063/5.0144815> (ағылшын тілінде)
3. Жүнісов М., Мұстапаева С. (2024 жылғы 17 қараша). Қазақстанның бес кенішіндегі юра және таскөмір дәуіріне жататын көмір күлін алдын ала РФТ талдауы: өндірістік және экологиялық салыстырулар. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app142210586> (ағылшын тілінде)
4. NIRS-XRF технологиясы негізінде көмір сапасын интеллектуалды бақылау жүйесін әзірлеу және қолдану / Gao R. [және т. б.] // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2025. № 40. Б. 1069–1085 (ағылшын тілінде)
5. Safda I., Subhani Q., Muhammad N., Hussain I. (Қазан 2025). Көмірдің ұшпа күлі мен түпкі күлінің физика-химиялық қасиеттері мен шаймалану мінез-құлқын XRF және AAS әдістері арқылы зерттеу: көпөлшемді талдау. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107272> (ағылшын тілінде)
6. Жүнісов М., Тарихов Ф., Әбілдақанов А., Жанайдар Д., Мекенбек Г., Ассамбаева А. (28 қараша, 2024). Қазақстанның үш кенішінен алынған көмірлердің минералогиялық және элементтік талдауы: пайда болу ерекшеліктерінен экологиялық әсерлерге дейінгі алдын ала нәтижелер. *Open Geosciences*. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0721> (ағылшын тілінде)
7. Khan Z., Bibi S. Қоршаған ортаға зиянды әсерін азайту мақсатында Тар көмірінен микроэлементтерді жою // *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016. Т. 49. № 1. Б. 50–57 (ағылшын тілінде)
8. Газды көмірді бөлу компоненттерінің құрылымдық айырмашылығы және оның жоғары күкіртті көмір пиролизі кезіндегі күкірттің түрленуіне әсері / Cheng C. [және т. б.] // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2021. Т. 49. № 9. Б. 1219–1230 (ағылшын тілінде)
9. Ревенко А., Пашкова Г. Көмір мен көмір күлінің химиялық құрамын рентген-флуоресценттік әдіспен зерттеу: шолу // *X-Ray Spectrometry*. 2024. № 54. Б. 159–170 (ағылшын тілінде)
10. Камунур К., Муссапырова Л., Батқал А., Тюменцева О., Карагулованова А. Үгілген үйінді аумағындағы сирекжер элементтері бар көмір күлін кешенді құрамдық модельдеу және машиналық оқыту арқылы талдау / Надиров Р. [және т. б.] // *Minerals*. 2025. № 15. Б. 1–19 (ағылшын тілінде)
11. Wang S., Cao S., Li S. (2026 жылғы 1 ақпан). Көмірді талдаудың жедел спектроскопиялық әдістеріндегі жетістіктер: қағидаттары, негізгі технологиялар және жаңа өлшеу мәселелері. *Measurement*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119493> (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баймолда Д. Применение рентгенофлуоресцентного анализа в угольной промышленности: монография: Алматы: Ұлагат, 2018. 160 с. (на английском языке)
2. Баймолда Д., Чехак Т., Күлбек М., Айтан Н., Шыңғысова С. (5 июня 2023 г.). Исследование концентрически-зональных цветовых эффектов в многофазных керамических образцах методом рентгенофлуоресцентного анализа. *Review of Scientific Instruments*. <https://doi.org/10.1063/5.0144815> (на английском языке)
3. Жунусов М., Мустафаева С. (17 ноября 2024 г.). Предварительный РФА-анализ золы юрских и каменноугольных углей на пяти казахстанских месторождениях: промышленное и экологическое сравнение. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app142210586> (на английском языке)
4. Разработка и применение интеллектуальной системы контроля качества угля на основе технологии NIRS-XRF / Gao R. [и др.] // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2025. № 40. С. 1069–1085 (на английском языке)
5. Safda I., Subhani Q., Muhammad N., Hussain I. (Октябрь 2025 г.). Исследование физико-химических свойств и поведения при выщелачивании золы-уноса и донной золы угля с использованием методов XRF и AAS: многомерный анализ. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107272> (на английском языке)
6. Жунусов М., Тарихов Ф., Абильдаканов А., Жанаидар Д., Мекенбек Г., Ассамбаева А. (28 ноября 2024 г.). Минералогический и элементный анализ казахстанских углей из трёх месторождений: предварительные выводы от особенностей формирования до экологических последствий. *Open Geosciences*. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0721> (на английском языке)
7. Khan Z., Bibi S. Удаление микроэлементов из угля Тар для минимизации его вредного воздействия на окружающую среду // *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016. Т. 49. № 1. С. 50–57 (на английском языке)
8. Структурные различия компонентов разделения газового угля и их влияние на трансформацию серы при пиролизе высокосернистого угля / Cheng C. [и др.] // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2021. Т. 49. № 9. С. 1219–1230 (на английском языке)
9. Ревенко А., Пашкова Г. Изучение химического состава угля и угольной золы методом рентгенофлуоресцентного анализа: обзор // *X-Ray Spectrometry*. 2024. № 54. С. 159–170 (на английском языке)
10. Комплексное композиционное моделирование и анализ с применением машинного обучения золы угля, содержащей редкоземельные элементы, с выветрелого отвала / Надиров Р. [и др.] // *Minerals*. 2025. № 15. С. 1–19 (на английском языке)
11. Wang S., Cao S., Li S. (1 февраля 2026 г.). Современные достижения в быстрых спектроскопических методах анализа угля: принципы, ключевые технологии и новые измерительные задачи. *Measurement*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119493> (на английском языке)

Information about the authors:

Baimolda D., Doctor of physical sciences (Ph.D), professor, Department of Physics, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan), dosanb@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8790-4931>

Lennik S., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Nuclear-Physical Methods of Analysis, Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan), sveta_sg@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3995-9588>

Aytan N., Physics Teacher, Aisaf Private Girls' School, Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), aytan.nazy@gamil.com; <https://orcid.org/0000-0003-1801-4104>

Khalikova E.R., Ph.D., Associate Professor of the Department of Mineral Deposit Development, NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), salyahova_e@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1501-8492>

Авторлар туралы мәліметтер:

Баймолда Д., физика ғылымының Ph.D докторы, «Физика» кафедрасының профессоры, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Ленник С., физика-математика ғылымдарының кандидаты, ядролық-физикалық тапдау әдістері зертханасының меңгерушісі, Ядролық физика институты (Алматы қ., Қазақстан)

Айтан Н., физика пәнінің мұғалімі, «АйСаф» жеке қыздар мектебі (Алматы қ., Қазақстан)

Халикова Э.Р., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті міндетін атқарушы, «Абылкас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Баймолда Д., доктор Ph.D физических наук, профессор кафедры «Физика», Казахский Национальный педагогический университет им. Абая (г. Алматы, Казахстан)

Ленник С., кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией ядерно-физических методов анализа, Институт ядерной физики (г. Алматы, Казахстан)

Айтан Н., учитель физики, Частная школа для девочек «АйСаф» (г. Алматы, Казахстан)

Халикова Э.Р., Ph.D, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)