

# Ценные и потенциально опасные элементы в углях Иркутского бассейна и продуктах переработки угольных отвалов\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-127-131>

На сегодняшний день известно, что угли можно рассматривать как источник ценных элементов. В Иркутской области угледобыча обеспечивается ресурсами Иркутского угольного бассейна. Методами рентгенофлуоресцентного анализа определены концентрации главных и микроэлементов в углях и глинистых прослоях Каратаевского разреза, Арансахойского и Черемховского месторождений, а также исследованы отвал и концентрат угля Касьяновской обогатительной фабрики. В углях Иркутского бассейна выявлены слабое обогащение  $Y$  со средней концентрацией в 2-3 раза выше, чем в среднем мировом угле, повышенные концентрации  $Ni$ , которые превышают среднее значение для мировых углей в среднем в 15 раз, слабое обогащение  $Ge$  примерно в 2 раза выше среднего мирового угля. В углях Иркутского бассейна выявлены повышенные концентрации потенциально опасных элементов ( $F$ ,  $Th$ ,  $Pb$ ), что следует учитывать при рекультивации и работе с отходами. По результатам исследований отвала и концентрата угля Касьяновской обогатительной фабрики отмечается снижение концентраций  $Pb$  в полученном угольном концентрате в сравнении с исходным угольным отвалом, использованном в качестве исходного материала для получения концентрата.

**Ключевые слова:** Иркутский бассейн, уголь, иттрий, опасные элементы, обогащение.

**Для цитирования:** Ценные и потенциально опасные элементы в углях Иркутского бассейна и продуктах переработки угольных отвалов / Е.А. Михеева, А.Н. Жиличева, С.И. Штельмах и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 127-131. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-127-131>.

## МИХЕЕВА Е.А.

Канд. геол.-минер. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: [mikheeva@crust.irk.ru](mailto:mikheeva@crust.irk.ru)

## ЖИЛИЧЕВА А.Н.

Аспирант ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», 664033, г. Иркутск, Россия

## ШТЕЛЬМАХ С.И.

Канд. геол.-минер. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: [fotina78@gmail.com](mailto:fotina78@gmail.com)

## ПРОКОПЬЕВ Е.С.

Инженер ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: [pes@spirit-irk.ru](mailto:pes@spirit-irk.ru)

## ЧИКИШЕВА Т.А.

Канд. геол.-минер. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: [chikishevatyana@mail.ru](mailto:chikishevatyana@mail.ru)

\* В работе задействовались оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках гранта №075-15-2021-682. Работы выполнены в рамках КНТП Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата».

## ВВЕДЕНИЕ

Иркутский угленосный бассейн расположен в южной части Сибирской платформы. В области создан крупный топливно-энергетический комплекс с ежегодной добычей около 15 млн т угля. В масштабах России он обеспечивает 6% добычи угля [1]. На сегодняшний день известно, что угли можно рассматривать как источник ряда элементов, таких как Ge, Ga, U, V, Se, редкоземельных элементов (РЗЭ) и Y, Sc; Nb, Au, Ag, элементов платиновой группы и Re, а также некоторых неблагородных металлов, таких как Al и Mg [2]. По результатам геолого-съёмочных работ выявлено, что для углей юго-восточной части Иркутского бассейна (например, Малоиретское проявление) характерны повышенные содержания Ge (до 0,1%) и Ga (до 0,07%), сконцентрированных в золе углей [3]. Также в угленосных отложениях отмечены участки с содержанием урана до 0,04% [3]. Установлено, что пепловые прослои в углях (тонштейны) и непосредственно угли Азейского месторождения содержат высокие концентрации РЗЭ, Y, Zr, Hf, U, Th, Ta, Sn, Ga, Cu, Pb, Se, Hg, Sb и Te [4]. Для выявления геохимических особенностей углей Иркутского бассейна исследованы промышленные пласты угля, а также содержащиеся в них глинистые прослои Каратаевского разреза [5], Арансайского и Черемховского месторождений.

На угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях с производством угля формируется значительное количество отходов. Значимое влияние на окружающую среду оказывают переработка горных пород, занятие земель под отвалы, нарушение ландшафта, загрязнение атмосферы. Использование отвалов – одно из направлений сокращения вредного воздействия. С целью выявления возможности использования отвалов угольных месторождений Иркутского бассейна исследованы образцы угля из отвала и угольного концентрата с Касьяновской обогатительной фабрики. Эксперименты по обогащению проводились на винтовом аппарате конструкции ООО ПК «Спирит». В качестве гравитационного аппарата в соответствии с крупностью обрабатываемого материала использован винтовой сепаратор марки СВм-750. Все эксперименты проводились на лабораторной установке, состоящей из пескового насоса, зумпфа и системы трубопроводов. На полученном угольном продукте винтовой сепарации проводили операцию обезвоживания, в результате чего получен угольный концентрат.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

В настоящее время для решения разнообразных задач, связанных с процессами сжигания и переработки угля, широко используется метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) [6]. Поскольку РФА является относительным методом анализа, содержание определяемых элементов рассчитывают относительно градуировочных образцов, химический состав которых близок к составу анализируемых образцов. Существуют стандартные образцы золы угля с аттестованными содержаниями широкого круга элементов, однако матрица озоленного продукта и диапазоны содержаний аналитов сильно отличаются от исходного угля. В существующих стандартных об-

разцах угля число элементов с аттестованными содержаниями ограничено [[http://granat-e.ru/gso\\_ugol.html](http://granat-e.ru/gso_ugol.html)].

В условиях отсутствия адекватных по составу градуировочных образцов в данной работе при определении содержаний основных и примесных элементов в образцах угля и угольного концентрата применили два варианта РФА: приближенно-количественный анализ с коррекцией матричных эффектов на основе способа фундаментальных параметров (волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр S4 Pioneer, РФА ВД); рентгенофлуоресцентный анализ способом внутреннего стандарта (рентгенофлуоресцентный спектрометр с полным внешним отражением S2 Picofox, РФА ПВО). Образцы предварительно измельчены с помощью вибрационного истирателя ИВ-6. Для проведения РФА ВД порошок был спрессован в таблетку на подложке из борной кислоты. Для проведения РФА ПВО порошок был приготовлен в виде суспензии с добавлением раствора внутреннего стандарта (Ga). Полученные результаты приведены в таблице. Микроэлементы в углях Иркутского бассейна определяли методом РФА ВД на рентгеновском спектрометре S8 TIGER (Bruker AXS GmbH, Германия). Рентгеновский спектрометр с использованием программного обеспечения SPECTRAplus по методикам, описанным в [7, 8].

### Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов отвала и концентрата угля

Results of X-ray fluorescence analysis of waste dump and coal concentrate samples

Компонент	Уголь	Угольный концентрат
	% мас.	
Na <sub>2</sub> O	0,1	<0,1
MgO	1,3	0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,7	3,3
SiO <sub>2</sub>	26,7	7,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	<0,01
S	0,5	0,7
K <sub>2</sub> O	0,6	0,1
CaO	1,3	0,5
TiO <sub>2</sub>	0,17	0,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1	0,5
Элемент, мг/кг		
V	26	< 10
Cr	50	100
Mn	200	70
Ni	15	15
Cu	30	10
Zn	40	30
As	7	8
Br	3	2
Rb	35	10
Sr	160	85
Y	25	22
Zr	60	< 10
Ba	250	45
Ce	250	100
Pb	30	10

Геохимические данные образцов угля Иркутского бассейна сопоставлены со средним составом мировых углей [9]. Для этого использовался коэффициент концентрации (КК = отношение концентраций элементов в исследованных углях к мировому углю [9]), который применяют для определения обогащения или истощения микроэлементов [10]. Выявлены слабое обогащение Y со средней концентрацией в 2-3 раза выше, чем в среднем мировом угле (рис. 1), повышенные концентрации Ni, которые превышают среднее значение для мировых углей в среднем в 15 раз, слабое обогащение Ge, примерно в 2 раза выше среднего мирового угля. На основе экологической значимости в углях выделяют 4 группы элементов, представляющих экологический интерес: I (As, Cd, Cr, Hg, Se), IIA (B, Cl, Mn, F, Mo, Ni, Pb), IIB (Be, Cu, P, Th, U, V, Zn) и III (Ba, Co, Sb, Sn, Tl) [11].

В углях Иркутского бассейна выявлены повышенные относительно мирового угля концентрации потенциально

опасных элементов (F, Th, Pb), что следует учитывать при рекультивации и работе с отходами [11]. Угольный пласт Каратаевского разреза обогащен от кровли до подошвы F с максимальной концентрацией в образце тонштейна. Повышенные концентрации Pb средних значений характерны для всех исследованных углей. Высокие концентрации Th характерны для глинистых прослоев (Каратаевского и Арансахойского разрезов). Также для глинистых прослоев характерны повышенные концентрации Sc, As, Rb, Zr, Nb, U, Sn, Sb, Sm, V, Cr, Cu, Zn, Ba, La, Ce, Nd. Угли, содержащие тонштейны, обычно обогащены Zr, Hf, Nb, Ta, Ga, PЗЭ и Y [12].

Полученные геохимические данные для отвала и концентрата угля хорошо согласуются с имеющимися данными для Иркутского бассейна, за исключением La. Концентрации As, Br, Y, Ni в образцах угля из отвала и угольного концентрата Касьяновской обогатительной фабрики отличаются незначительно. Содержания Sr, Cr и Cu от-

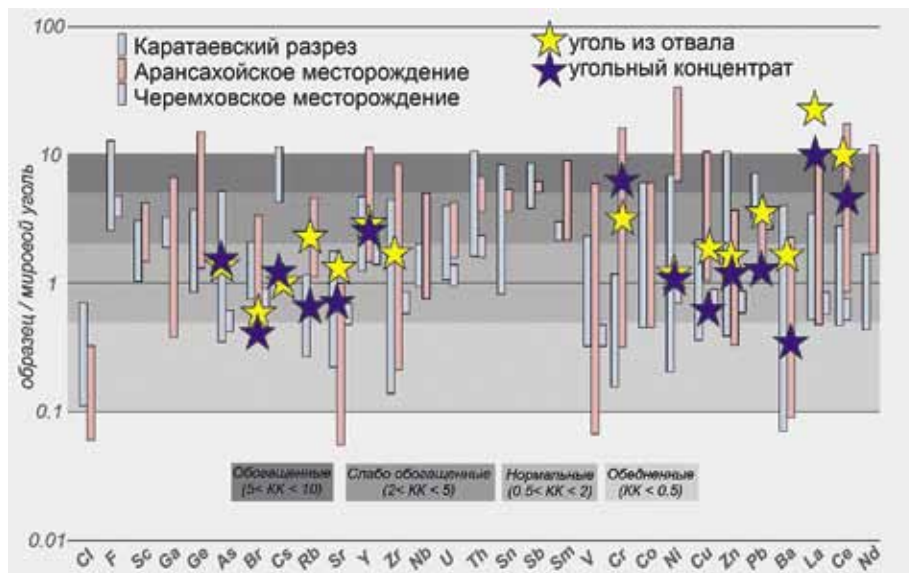


Рис. 1. Нормированный к мировому углю [9] график распределения концентраций элементов углей Иркутского бассейна и образцов угля из отвала и угольного концентрата Касьяновской обогатительной фабрики. Коэффициенты концентрации (КК) микроэлементов (по [10]) в углях по сравнению с мировым углем

Fig. 1. A distribution plot of the coal element concentrations normalized to the world coal [9] in the Irkutsk basin and coal samples from the dump and coal concentrate of the Kasyanovskaya coal preparation plant. Coefficients of trace element concentrations (by [10]) in coals as compared to the world coals



Рис. 2 Нормированный к мировому углю [9] график распределения концентраций элементов углей Иркутского бассейна Распадского разреза Кузнецкого бассейна [по данным 14]. Коэффициенты концентрации (КК) микроэлементов (по [10]) в углях по сравнению с мировым углем

Fig. 2. A distribution plot of the coal element concentrations in the Irkutsk basin and the Raspadsky strip mine of the Kuznetsk basin [based on 14] normalized to the world coal [9]. Coefficients of trace element concentrations (by [10]) in coals as compared to the world coals

личаются чуть более заметно, но без изменения степени обогащения относительного мирового угля. Концентрации Rb, Pb, La и Ce заметно выше в образце угля из отвала, также можно наблюдать повышение степени обогащения. Однако концентрации Cr становятся заметно выше в угольном концентрате. На основе экологической значимости особенно следует отметить снижение концентраций Pb в положительном аспекте. Сжигание углей, содержащих Pb всего в 3-4 раза больше кларка каменных углей, уже представляет потенциальную опасность для окружающей среды при сжигании их без предварительного обогащения по сере и золе [13]. Что касается ценных элементов, в частности, Y, то его концентрации заметно не меняются.

Одним из наиболее значимых в экономическом отношении районов России является Кузнецкий угольный бассейн или Кузбасс. На долю Кузбасса приходится почти 60% добычи каменных углей в России. Практический интерес в настоящее время представляют угли каменноугольного и пермского возрастов. Установлена Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga-специализация руд в пермских углях слоя XI на юге Кузбасса [14]. Оруденение угля связывают с наличием измененного вулканогенно-пирокластического горизонта, обогащенного редкоземельными элементами [14]. В угольном пласте XXX Кузнецкого бассейна обнаружено 3 тонштейна [15]. В рамках КНТП Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2022-1192 предполагается разработка технологий хвостов угольных обогатительных фабрик Кузбасса, аналогичных тем, что в настоящий момент используются на Касьяновской обогатительной фабрике. Используя данные этой работы, можно ожидать, что товарный угольный концентрат такой переработки будет характеризоваться заметно более низкими концентрациями Zr, Ce и Pb по сравнению с исходным материалом. Снижение свинца особенно важно в экологическом аспекте, поскольку сжигание углей, содержащих повышенное содержание Pb, представляет потенциальную опасность для человека.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В углях Иркутского бассейна выявлены слабое обогащение Y и Ge, значительное обогащение Ni, а также повышенные концентрации потенциально опасных элементов (F, Th, Pb), что следует учитывать при рекультивации и работе с отходами. По результатам исследований отвала и концентрата угля Касьяновской обогатительной фабрики можно отметить снижение концентраций Pb в полученном угольном концентрате в сравнении с исходным материалом. Авторы выражают благодарность Пашковой Галине Валерьевне и Чубарову Виктору Маратовичу за помощь во всех аспектах нашего исследования.

### Список литературы

1. Угольная база России. Том III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (Красноярский край, Канско-Ачинский бассейн; Республика Хакасия, Минусинский бассейн; Республика Тыва, Улугхемский бассейн и др. месторождения; Иркутская область, Иркутский бассейн и угольные месторождения Предбайкалья). М.: ООО «Геоинформ-центр», 2002. 488 с.
2. Dai S., Finkelman R.B. Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects // *International Journal of Coal Geology*. 2018. Is. 186. P. 155-164. DOI:10.1016/j.coal.2017.06.005.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-48. Иркутск. Объяснительная записка. Р. Минприроды России, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУНПП и «Иркутскгеофизика» / Т.Ф. Галимова, С.А. Пермяков, В.Т. Бобровский и др. Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. 574 с.
4. Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia) / S.I. Arbuzov, A.M. Mezhibor, D.A. Spears et al. // *International Journal of Coal Geology*. 2016. Is. 153. P. 99-111. DOI:10.1016/j.coal.2015.12.001.
5. Михеева Е.А., Блинов А.В. Потенциально опасные элементы и иттрий в угле Каратаевского разреза, Иркутский бассейн // *Геодинамика и тектонофизика*. 2022. Т. 13. № 2. DOI:10.5800/GT-2022-13-2s-0611.
6. Ревенко А.Г. Пашкова Г.В. Применение рентгенофлуоресцентного метода анализа для исследования состава угля и золы // *Аналитика*. 2022. № 6. С. 410-419.
7. Штельмах С.И., Черкашина Т.Ю., Пашкова Г.В. Рентгенофлуоресцентное определение примесных элементов в карбонатных породах и флюоритовых рудах с использованием спектрометра S8 Tiger // *Аналитика и контроль*. Т. 19. № 2. С. 121-129. DOI:10.15826/analitika.2015.19.2.0012015.
8. SPECTRAplus. Software Package for X-ray Spectrometers. Version 2.2.3.1. Karlsruhe, Bruker AXS GmbH, 2010. 495 p.
9. Ketris M.P., Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // *International journal of coal geology*. 2009. Is. 78. No 2. P. 135-148. DOI:10.1016/j.coal.2009.01.002.
10. Enrichment of U-Se-Mo-Re-V in coals preserved within marine carbonate successions: geochemical and mineralogical data from the Late Permian Guiding Coalfield, Guizhou, China / S. Dai, D. Ren, C. Chou et al. // *Mineralium Deposita*. 2015. Is. 50. No. 2. P. 159-186. DOI:10.1007/s00126-014-0528-1.
11. Swaine D.J., Goodarzi F. Environmental aspects of trace elements in coal. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1995. P. 1-4.
12. Major and trace element geochemistry of coals and intra-seam claystones from the Songzao Coalfield, SW China / L. Zhao, C.R. Ward, D. French et al. // *Minerals*. 2015. No 5. P. 870-893. DOI:10.3390/min5040531.
13. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. 2006. 538 с.
14. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia / S.I. Arbuzov, D.A. Spears, A.V. Vergunov et al. // *Ore Geology Reviews*. 2019. Is. 113. P. 103073. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.103073.
15. Вергунов А.В. Минералого-геохимическая идентификация пирокластического вулканогенного материала карбона-перми в углях Кузнецкого и Минусинского бассейнов: дисс. ... канд. геол.-минер. наук: спец. 25.00. 09: дис. 2021.



Original Paper

UDC 552.57:622.333 © E.A. Mikheeva, A.N. Zhilicheva, S.I. Shtelmakh, E.S. Prokopiev, T.A. Chikisheva, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 512, pp. 127-131  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-127-131>

**Title****VALUABLE AND POTENTIALLY HAZARDOUS ELEMENTS IN THE COALS OF THE IRKUTSK BASIN AND PRODUCTS OF PROCESSING OF COAL DUMPS****Authors**

Mikheeva E.A.<sup>1</sup>, Zhilicheva A.N.<sup>1</sup>, Shtelmakh S.I.<sup>1</sup>, Prokopiev E.S.<sup>1</sup>, Chikisheva T.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, Russian Federation

**Authors Information**

**Mikheeva E.A.**, PhD (Geol.-min.), Research Associate,  
 e-mail:mikheeva@crust.irk.ru

**Zhilicheva A.N.**, Postgraduate student

**Shtelmakh S.I.**, PhD (Geol.-min.), Research Associate,  
 e-mail:fotina78@gmail.com

**Prokopiev E.S.**, Engineer, e-mail:pes@spirit-irk.ru

**Chikisheva T.A.**, PhD (Geol.-min.), Research Associate,  
 e-mail:chikishevatyana@mail.ru

**Abstract**

Today, coals can also be considered as an economic source of a number of critical elements. In the Irkutsk region, coal mining is provided by the resources of the Irkutsk coal-bearing basin. The concentrations of the main and microelements in coals and clay interlayers of the Karataevsky, Aransakhoy and Cheremkhovo deposits, and the dump and concentrate of the coal of the Kasyanovskaya enrichment plant were determined by X-ray fluorescence analysis. A weak Y enrichment, with an average concentration 2-3 times higher than in the average world coal, was determined in the Irkutsk coals. Elevated concentrations of Ni, which exceed the average value for world coals by an average of 15 times, was determined in the Aransakhoy deposit. Also, the Irkutsk coals are characterized by a weak enrichment of Ge, about 2 times higher average world coal. The studied coals contains elevated concentrations contents of potential environmental hazardous elements (F, Th, Pb), which should be considered during recultivation and waste management. Decrease Pb concentrations in the obtained coal concentrate is noted in comparison with the original coal dump used as the starting material for producing the concentrate, according to the results of studies of the dump and concentrate of the Kasyanovskaya enrichment plant coal.

**Keywords**

Irkutsk basin, Coal, Yttrium, Hazardous elements, Enrichment.

**References**

- Coal resource base of Russia. Volume III. Coal basins and fields in Eastern Siberia (the Krasnoyarsk Territory, the Kansk-Achinsk basin; the Republic of Khakassia, the Minusinsk basin; the Republic of Tyva, the Ulugkhem basin and other fields; the Irkutsk Region, the Irkutsk basin and coal fields of Cisbaikalia). Moscow, Geoinform-Tsentr Publ., 2002, 488 p. (In Russ.).
- Dai S. & Finkelman R.B. Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects. *International Journal of Coal Geology*, 2018, (186), pp. 155-164. DOI:10.1016/j.coal.2017.06.005.
- Galimova T.F., Permyakov S.A., Bobrovsky V.T., Pashkova A.G., Bormotkina L.A., Povarintseva S.A., Matveychuk A.A., Namolova M.M. & Sadriev V.M. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (3rd Generation). The Angaro-Yenisei Series. Sheet N-48: Irkutsk. Explanatory note. R. Ministry of Natural Resources of Russia, Russian Geological Research Institute (VSEGEI), Irkutskgeophysika Federal State Unitary Research and Production Geological Enterprise, St. Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory, 2009, 574 p. (In Russ.).
- Arbuzov S.I., Mezhibor A.M., Spears D.A., Ilenok S.S., Shaldybin M.V. & Belaya E.V. Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia). *International Journal of Coal Geology*, 2016, (153), pp. 99-111. DOI:10.1016/j.coal.2015.12.001.

- Mikheeva E.A. & Blinov A.V. Potentially hazardous elements and Yttrium in coal from the Karataevsky Strip Mine, the Irkutsk Basin. *Geodinamika i tektonofizika*, 2022, Vol. 13, (2). DOI:10.5800/GT-2022-13-2s-0611. (In Russ.).
- Revenko A.G. & Pashkova G.V. Application of X-ray fluorescent method to study the composition of coal and ash. *Analitika*, 2022, (6), pp. 410-419. (In Russ.).
- Shtelmakh S.I., Cherkashina T.Yu. & Pashkova G.V. X-ray fluorescence detection of impurity elements in carbonate rocks and fluorite ores using S8 Tiger spectrometer. *Analitika i kontrol'*, Vol. 19, (2), pp. 121-129. (In Russ.).
- SPECTRAplus. Software Package for X-ray Spectrometers. Version 2.2.3.1. Karlsruhe, Bruker AXS GmbH, 2010, 495 p.
- Ketris M.P. & Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *International journal of coal geology*, 2009, Is. 78, (2), pp. 135-148. DOI:10.1016/j.coal.2009.01.002.
- Dai S., Ren D., Chou C. et al. Enrichment of U–Se–Mo–Re–V in coals preserved within marine carbonate successions: geochemical and mineralogical data from the Late Permian Guiding Coalfield, Guizhou, China. *Mineralium Deposita*, 2015, Is. 50, (2), pp. 159-186. DOI:10.1007/s00126-014-0528-1.
- Swaine D.J. & Goodarzi F. Environmental aspects of trace elements in coal. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1995, pp. 1-4.
- Zhao L., Ward C.R., French D. et al. Major and trace element geochemistry of coals and intra-seam claystones from the Songzao Coalfield, SW China. *Minerals*, 2015, (5), pp. 870-893. DOI:10.3390/min5040531.
- Yudovich Ya.E. & Ketris M.P. Valuable elements-coal impurities. Yekaterinburg, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006, 538 p. (In Russ.).
- Arbuzov S.I., Spears D.A., Vergunov A.V., Ilenok S.S., Mezhibor A.M., Ivanov V.P. & Zarubina N.A. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia. *Ore Geology Reviews*, 2019, (113), pp. 103073. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.103073.
- Vergunov A.V. Mineralogical and geochemical identification of pyroclastic volcanogenic material of Carboniferous-Permian Period in coals of the Kuznetsk and Minusinsk basins. PhD (Geology and Mineralogy) diss., Major: 25.00. 09. 2021. (In Russ.).

**Acknowledgements**

This work involved the Centre of Geodynamics and Geochronology equipment at the Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (grant № 075-15-2021-682). The work was founded by Integrated scientific and technical program of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 «Treatment of tailings of coal processing plants in order to obtain commercial coal concentrate».

**For citation**

Mikheeva E.A., Zhilicheva A.N., Shtelmakh S.I., Prokopiev E.S., Chikisheva T.A. Valuable and potentially hazardous elements in the coals of the Irkutsk basin and products of processing of coal dumps. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 127-131. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-512-127-131.

**Paper info**

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022