

# Формы нахождения потенциально ценных компонентов в отходах углеобогадательной фабрики «Краснобродская-Коксовая»\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-100-104>

## КОМАРОВА А.Г.

Ведущий инженер-минералог  
ООО НПК «Спирит»,  
преподаватель кафедры  
полезных ископаемых,  
геохимии, минералогии и петрографии  
ФГБОУ ВО «Иркутский  
государственный университет»,  
664003, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: [kag@spirit-irk.ru](mailto:kag@spirit-irk.ru)

## ЧИКИШЕВА Т.А.

Канд. геол.-минер. наук,  
научный сотрудник  
отдела комплексного  
использования минерального сырья  
ФГБУН «Институт земной коры СО РАН,  
руководитель минералогической  
группы ООО НПК «Спирит»,  
доцент кафедры полезных ископаемых,  
геохимии, минералогии и петрографии  
ФГБОУ ВО «Иркутский  
государственный университет»,  
664003, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: [cta@spirit-irk.ru](mailto:cta@spirit-irk.ru)

На территории Кузнецкого угольного бассейна складывается огромное количество отвалов углеобогащения, которые содержат в себе большое количество редких и ценных микроэлементов. Установлено, что в отходах углеобогадательной фабрики «Краснобродская-Коксовая» содержится ряд потенциально ценных компонентов. В ходе проведения минералогического анализа были выявлены формы нахождения таких элементов как Fe, Al, Si, Zn, Ba, W, Ti, Zr, La, Y и Ag. Минералогический анализ показал, что в отходах углеобогащения доля минеральной составляющей равняется 40,2%, из которых 29,52% приходится на глинистые минералы, являющиеся источниками Al. Также источниками неблагородных металлов выступают сульфиды, магнетит и ряд других минералов. Ксенотим и монацит, обнаруженные в материале пробы, являются минералами-концентраторами редкоземельных элементов. Кроме того, в самородной форме обнаружено серебро. Наличие этих минералов в исследуемом сырье делает его потенциальным источником стратегически важных и редких элементов, а также неблагородных металлов.

**Ключевые слова:** отходы угледобычи, комплексная переработка минерального сырья, угольные шламы, Кузнецкий угольный бассейн, стратегически важные элементы, редкоземельные элементы, формы нахождения.

**Для цитирования:** Формы нахождения потенциально ценных компонентов в отходах углеобогадательной фабрики «Краснобродская-Коксовая» / А.Г. Комарова, Т.А. Чикишева, Е.С. Прокопьев и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 100-104. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-100-104.

## ВВЕДЕНИЕ

Кузбасс – один из наиболее экономически значимых районов Российской Федерации, в котором одна из ведущих ролей принадлежит промышленному комплексу по добыче и переработке угля [1]. На территории Кузнецкого угольного бассейна эксплуатируются десятки шахт и угле-разрезов, при этом угледобывающие компании постоянно наращивают объемы переработки угольного сырья [2], что в свою очередь сопровождается увеличением количества горнопромышленных отходов, которые уже сейчас покрывают площади, исчисляемые тысячами гектаров, и оказывают колоссальную нагрузку на экосистему [3, 4].



\* 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».

Отходы переработки углей так же, как и ископаемый уголь, представляют собой смесь органического вещества (мацералов) и неорганических компонентов (минералов). Состав и количество минеральной части являются одними из важнейших характеристик углей. Информация о минеральном составе позволяет судить о возможности вовлечения техногенных отвалов во вторичную переработку, предопределить характеристику получаемых шлаков и зольных уносов, образующихся при сжигании, а также оценить их металлоносность [5]. Ряд исследований, проводимых на материале отходов горной промышленности, говорят о том, что в отвалах, возникших в результате переработки угольного сырья, содержится значительное количество потенциально ценных компонентов [6, 7, 8].

Вовлечение техногенного сырья во вторичное использование имеет ряд преимуществ [9, 10, 11]:

- получение важных элементов, которые обеспечивают национальную безопасность;
- получение из хвостов обогащения качественной угольной продукции, в которой минимизированы содержания вредных элементов примесей и показатели зольности;
- с точки зрения воздействия на окружающую среду удаление этого материала из отвалов приведет к снижению попадания токсичных элементов на поверхность и в грунтовые воды из хвостохранилищ, а также к сокращению объемов отходов углеобогащения.

Для оценки возможности использования отвалов углеобогатительной фабрики «Краснобродская-Коксовая» во вторичной переработке, а также для установления форм нахождения в них стратегически важных элементов и вредных примесей были проведены детальные минералогические исследования хвостов углеобогащения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оптико-минералогический анализ пробы хвостов углеобогатительной фабрики «Краснобродская-коксовая» выполнялся в минералогическом отделе ООО НПК «Спирит» по методическим рекомендациям НСОММИ [12] с применением бинокулярного стереомикроскопа Микромед МС-2-ZOOM 2CR. Рентгенографический анализ выполнялся в центре коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН на дифрактометре ДРОН-3.0.

Изучение минеральной составляющей углесодержащей пробы производилось с применением сканирующего электронного микроскопа [13] MIRA3 LMN TESCAN в центре коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН в режиме обратно-рассеянных электронов и поляризационного микроскопа Olympus BX53-F в научно-учебной лаборатории экспериментальной геологии геологического факультета ИГУ. Исследование производилось по межгосударственным стандартам [14, 15, 16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках работ по выявлению форм нахождения стратегически важных элементов и вредных элементов-примесей был проведен оптико-минералогический анализ углесодержащей пробы, в результате которого установлено, что минеральные компоненты составляют 40,20%, а на уголь приходится 59,80%.

Минеральная составляющая отходов углеобогатительной фабрики в основном сложена глинистыми минералами (29,52 из 40,20%) – каолинитом и смешанослойными образованиями гидрослюд и смектита. В меньшем количестве обнаружены карбонаты (сидерит, доломит и кальцит), полевые шпаты, кварц и обломки пород, суммарное количество которых составляет 10,55%. В сотых долях процента присутствуют слюды, суль-

## ПРОКОПЬЕВ Е.С.

*Научный сотрудник  
отдела комплексного использования  
минерального сырья  
ФГБУН «Институт земной коры СО РАН»,  
директор по технологиям и инновациям  
ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: pes@spirit-irk.ru*

## ПРОКОПЬЕВ С.А.

*Канд. техн. наук,  
руководитель отдела  
комплексного использования  
минерального сырья  
ФГБУН «Институт земной коры СО РАН»,  
генеральный директор ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: psa@spirit-irk.ru*

фиды (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит) и магнетит. В единичных зернах визуализируются барит, вольфрамит, самородное серебро, ксенотим, монацит, рутил, циркон, гетит и интерметаллиды Cu-Zn.

Для установления элементного состава пробы был проведен атомно-эмиссионный анализ с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES). Данные, полученные при проведении анализа, показали, что в отходах углеобогащательной фабрики содержится ряд элементов, относящихся к неблагородным металлам – Fe, Al, Cu, Zn, Ba, W, Ti, Zr и др., а также редкоземельные элементы – La, Y и благородный металл – Ag.

По экологической значимости в углях и отходах угледобычи выделяют четыре группы элементов (значимость уменьшается слева направо): 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 [17]. В зависимости от концентрации эти элементы могут оказывать токсичное влияние на окружающую среду, но при этом некоторые из них являются весьма ценными. Далее рассмотрим формы нахождения компонентов, которые оказывают влияние на окружающую среду, но при этом имеют потенциальную ценность.

**Формы нахождения алюминия.** Главными источниками Al в исследуемой пробе являются глинистые минералы: каолинит и смешанослойные образования гидрослюд и смектита. Глинистые минералы визуализируются в основном в виде минеральных агрегатов, в состав которых входят

карбонаты, кварц и полевые шпаты. Также иногда в составе минеральных агрегатов наблюдается углистое вещество.

**Формы нахождения железа.** Железо в основном концентрируется в магнетите и гетите. Они обнаружены в материале пробы в виде микровключений и самостоятельных зерен. Также концентратом железа выступает сидерит, который слагает минеральные агрегаты и формирует конкреции (рис. 1).

**Формы нахождения серы.** Основными носителями серы выступают сульфиды. Сульфиды представлены в основном пиритом, реже обнаруживаются халькопирит, сфалерит, галенит и цинковый теннантит, которые также аккумулируют в себе *неблагородные металлы* – Fe, Cu, Zn и As. Пирит в основном визуализируется в виде сферических агрегатов – фрамбондов (рис. 2), которые состоят из микрочастиц пирита. Пирит также отмечен в виде отдельных микровключений идиоморфных кристаллов в минеральных агрегатах и в виде свободных зерен. Редко в зернах пирита прослеживается наличие углистого вещества. Остальные обнаруженные сульфиды наблюдаются в виде микровключений неправильной формы.

**Прочие источники неблагородных металлов.** Также по данным элементного состава в материале пробы присутствуют Ba, W, Ti и Zr, минералами-носителями которых являются барит, вольфрамит, рутил и циркон соответственно. Они обнаружены в виде редких микровключений непра-

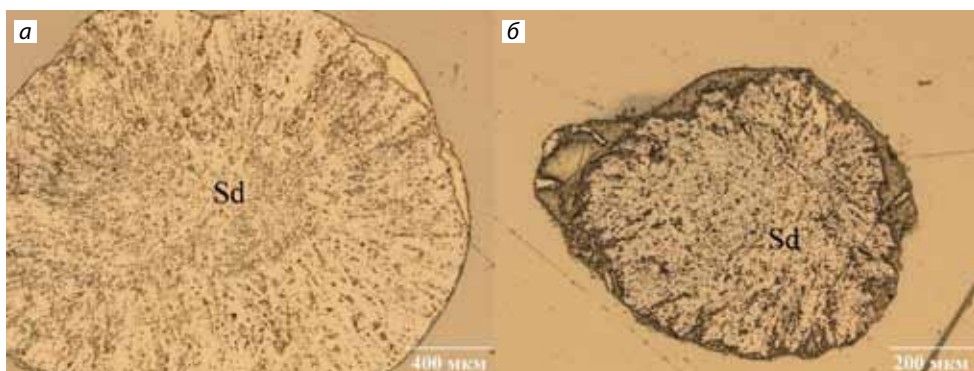


Рис. 1. Конкреции сидерита (Sd). Микрофотографии фрагмента аншлиф-брикета, отраженный свет, анализатор выключен  
Fig. 1. Nodules of siderite (Sd). Micrographs of a polished section briquette fragment, reflected light, analyzer off

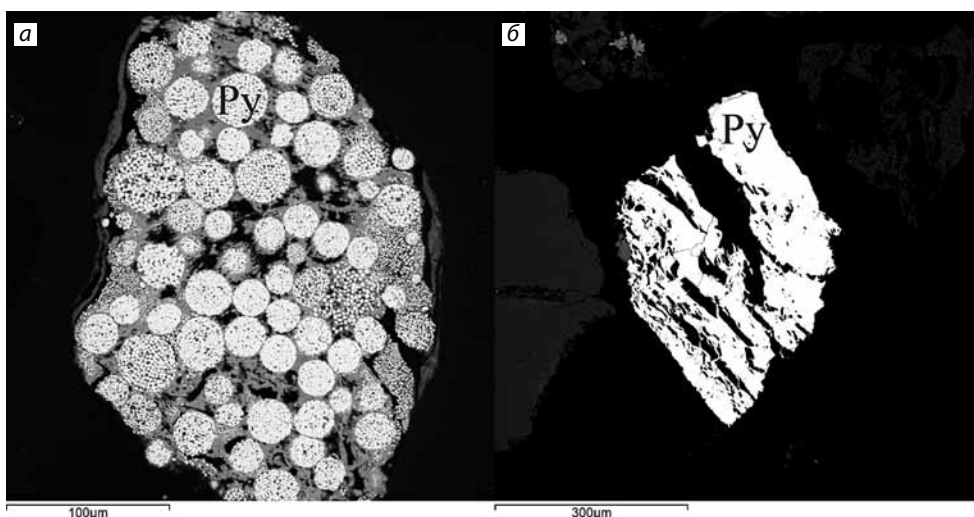


Рис. 2. Микрофотографии выделений пирита (Py). А – фрамбонды пирита; Б – свободное зерно пирита с прослойками угля (черное). Аншлиф-брикет. Изображение в обратно рассеянных электронах  
Fig. 2. Micrographs of pyrite (Py) secretions. A – pyrite framboids; B – free grain of pyrite with coal layers (black). Polished section briquette. Image in backscattered electrons

вильной формы. Также помимо сульфидов минералами-концентраторами Cu и Zn выступают их интерметаллические соединения.

*Благородные металлы.* Из группы благородных металлов обнаружено серебро, оно находится в материале в самородном виде и образует выделения неправильной формы в угольсодержащих агрегатах.

*Редкоземельные элементы.* Минералогические исследования показали, что в исследуемом материале присутствуют ксенотим и монацит, которые являются носителями PЗЭ и Th. Эти минералы также обнаружены в материале пробы в виде включений в минеритах.

Основываясь на данных минералогического анализа, можно заключить, что отходы углеобогащения являются потенциальным источником стратегически важных и редких элементов, а также неблагородных металлов [18].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогический анализ показал, что отходы углеобогащательной фабрики «Краснобродская-Коксовая» содержат в себе ряд минералов, которые являются носителями элементов, негативно влияющих на окружающую среду, будучи при этом стратегически важными. Вовлечение во вторичную переработку этих отходов дает возможность получить не только угольный концентрат, но и ряд продуктов с высокими концентрациями различных ценных компонентов – Fe, Y, REE, Al и др. Комплексная переработка данного сырья имеет ряд экономических и экологических преимуществ.

### Список литературы

1. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский, бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. 604 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году». Государственные доклады – Минприроды России. М., 2021
3. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51–58.
4. Инженерно-геологические и экологические проблемы при эксплуатации и рекультивации высоких отвалов на разрезах Кузбасса / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, А.Д. Васильева и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 8. С. 164-178. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-8-0-164.
5. Скурский М.Д. О вещественном составе углей // Техника и технология горного дела. 2022. № 1. С. 31-82. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-1-31-82.
6. Верех-Белоусова Е.И. Переработка отвалов угольных шахт Луганщины как техногенных месторождений металлов // Экологическая химия. 2019. Т. 28. № 2. С. 107-113.
7. Нифантов Б.Ф., Заостровский А.Н., Занина О.П. Горно-геологическое и технологическое значение распределения ценных и токсичных элементов в кузнецких углях // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. № 6. С. 76-78.
8. 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: 10.18796/0041-5790-2022-S12-127-131.
9. 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.
10. Utilization of waste coal flotation concentrate for copper matte smelting / J. Łabaj, L. Blacha, A. Smalcerz et al. // Engineering Science and Technology an International Journal. 2021. No 24. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.01.003>.
11. Processing of pyrite derived from coal mining waste by density separation technique using lithium heteropolytungstate (LST) / S.C.D. Ghedin, G.J. Pedroso, C.B. Neto et al. // Matéria (rio De Janeiro). 2022. No 27(3). e20220169. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0169>.
12. Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб: Методические рекомендации № 162 / Научный совет по методам минералогических исследований (НКОММИ). М.: ВИМС, 2012. 23 с.
13. Гамов М.И., Наставкин А.В., Вялов В.И. Результаты применения растровой электронной микроскопии для изучения минеральных компонентов углей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 1. С. 10-23.
14. Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.1-94 (ИСО 7404-1-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 1. Словарь терминов. М.: Издательство стандартов, 1995. 23 с.
15. Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.2-93 (ИСО 7404-2-85). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 2. Метод подготовки образцов угля. М.: Издательство стандартов, 1995. 18 с.
16. Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.3-93 (ИСО 7404-3-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 3. Методы определения групп мацералов. М.: Издательство стандартов, 1995. 12 с.
17. Swaine D.J., Goodarzi F. Environmental aspects of trace elements in coal. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1995. P. 1-4.
18. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-ZrHf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia / S.I. Arbutov, D.A. Spears, A.V. Vergunov et al. // Ore Geology Reviews. 2019. Is. 113. P. 103073. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.103073.

Original Paper

UDC 552.574:553.086 © A.G. Komarova, T.A. Chikisheva, E.S. Prokopiev, S.A. Prokopiev, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 9, pp. 100-104  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-100-104>

**Title**  
**OCCURRENCE FORM OF POTENTIALLY VALUABLE COMPONENTS IN THE KRASNOBRODSKAYA-KOKSOVAYA COAL-PROCESSING PLANT WASTE**

**Authors**

Komarova A.G.<sup>1,3</sup>, Chikisheva T.A.<sup>1,2,3</sup>, Prokopiev E.S.<sup>1,2</sup>, Prokopiev S.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

<sup>3</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation

**Authors Information**

**Komarova A.G.**, Leading mineralogist engineer, Lecturer of Department of Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrography, e-mail: [kag@spirit-irk.ru](mailto:kag@spirit-irk.ru)

**Chikisheva T.A.**, PhD (Geology and Mineralogy), Head of mineralogical department, Research Associate, Associate Professor of Department of Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrography, e-mail: [cta@spirit-irk.ru](mailto:cta@spirit-irk.ru)

**Prokopiev E.S.**, Director for technology and innovation, Research Associate, e-mail: [pes@spirit-irk.ru](mailto:pes@spirit-irk.ru)

**Prokopiev S.A.**, PhD (Engineering), General Director, Chief Department of Comprehensive Use of Mineral Resources, e-mail: [psa@spirit-irk.ru](mailto:psa@spirit-irk.ru)

**Abstract**

A huge number of coal enrichment dumps are stored on the territory of the Kuzbass coal basin. Coal waste accommodates a large quantity of rare and valuable chemical elements. The Krasnobrodskaya-Koksovaya coal preparation plant waste contains potentially valuable components. The forms of occurrence of such elements as Fe, Al, Cu, Zn, Ba, W, Ti, Zr, La, Y and Ag were revealed using by the mineralogical analysis. The mineralogical analysis showed that the proportion of the mineral component in the coal enrichment waste is 40.2% of which 29.52% are clay minerals. The clay minerals are sources of Al. The pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, magnetite and others are sources of base metals. Xenotime and monazite found in the sample material are minerals-concentrators of rare earth elements. In addition, silver was found in the native form. The presence of these minerals in the coal wastes makes it a complex raw material and therefore a base metal, strategically important and rare elements could be extracted.

**Keywords**

Coal mining waste, Complex processing of mineral raw materials, Coal sludge, Kuznetsk coal basin, Strategically important elements, Rareearth elements, Occurrence forms.

**References**

1. The coal base of Russia. Volume II. Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsky, Gorlovsky, West Siberian basins; deposits of the Altai Territory and the Altai Republic). Moscow, Geoinformceitr LLC, 2003, 604 p. (In Russ.).
2. On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020: state report. State reports – Ministry of Natural Resources of Russia. Moscow, 2021. (In Russ.).
3. Kupriyanov A.N. & Manakov Yu.A. Regularities of restoration of vegetation cover on the dumps of Kuzbass. *Siberian Forest Journal*, 2016, (2), pp. 51-58. (In Russ.).
4. Kutepov Yu.I., Kutepova N.A., Vasilyeva A.D. & Mukhina A.S. Engineering-geological and environmental problems during operation and reclamation of high dumps at Kuzbass sections. *Gornyy informatsionno-analiticheskij Byulleten*, 2021, (8), pp. 164-178. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-8-0-164.
5. Skursky M.D. On the material composition of coals. *Technique and technology of mining*, 2022, (1), pp. 31-82. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2022-1-31-82.
6. Verekh-Belousova E.I. Processing of dumps of coal mines of Luhansk region as technogenic deposits of metals. *Environmental chemistry*, 2019, Vol. 28, (2), pp. 107-113. (In Russ.).
7. Nifantov B.F., Zaostrovsky A.N. & Zanina O.P. Mining-geological and technological significance of the distribution of valuable and toxic elements in

Kuznetsk coals. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2005, (6), pp. 76-78. (In Russ.).

8. 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-S12-127-131.

9. 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.

10. Łabaj J., Blacha L., Smalcerz A. et al. Utilization of waste coal flotation concentrate for copper matte smelting. *Engineering Science and Technology an International Journal*. 2021, (24). <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.01.003>.

11. Ghedin S.C.D., Pedroso G.J., Neto C.B., Preve J., Gondoreck N.B., Ely G.G., Angioletto F., Ourique F., Ribeiro L.F.B. & Frizon T.E.A. Processing of pyrite derived from coal mining waste by density separation technique using lithium heteropolytungstate (LST). *Matéria (Rio De Janeiro)*, 2022, (27), e20220169. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-016912>. Optical-mineralogical analysis of shlich and crushed samples: Methodological recommendations No. 162 / Scientific Council on Methods of Mineralogical Research (NSOMMI). Moscow, VIMS, 2012, 23c. (In Russ.).

13. Gamov M.I., Mentor A.V. & Vyalov V.I. Results of the use of scanning electron microscopy for the study of mineral components of coals. *Gornyy informatsionno-analiticheskij Byulleten*, 2016, (1), pp. 10-23. (In Russ.).

14. Interstate standard GOST 9414.1-94 (ISO 7404-1-84). Coal and anthracite. Methods of petrographic analysis. Part 1. Dictionary of terms. Moscow, Publishing House of Standards, 1995, 23 p. (In Russ.).

15. Interstate standard GOST 9414.2-93 (ISO 7404-2-85). Coal and anthracite. Methods of petrographic analysis. Part 2. Method of preparation of coal samples. Moscow, Publishing House of Standards, 1995, 18 p. (In Russ.).

16. Interstate standard GOST 9414.3-93 (ISO 7404-3-84). Coal and anthracite. Methods of petrographic analysis. Part 3. Methods for determining groups of macerals. Moscow, Publishing House of Standards, 1995, 12 p. (In Russ.).

17. Swaine D.J. & Goodarzi F. Environmental aspects of trace elements in coal. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1995, pp. 1-4.

18. Arbuzov S.I., Spears D.A., Vergunov A.V. et al. 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), 103073. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.103073.

**Acknowledgements**

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**

Komarova A.G., Chikisheva T.A., Prokopiev E.S. & Prokopiev S.A. Occurrence form of potentially valuable components in the Krasnobrodskaya-Koksovaya coal-processing plant waste. *Ugol'*, 2023, (9), pp. 100-104. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-100-104.

**Paper info**

Received July 27, 2023

Reviewed August 14, 2023

Accepted August 25, 2023