

УДК 552.574 © А.Г. Комарова^{1,3}, Т.А. Чикишева^{2,3}, Е.С. Прокопьев^{1,2}, С.А. Прокопьев^{1,2}, 2024

UDC 552.574 © A.G. Komarova^{1,3}, T.A. Chikisheva^{2,3}, E.S. Prokopiev^{1,2}, S.A. Prokopiev^{1,2}, 2024

¹ ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия

¹ LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation

² ФГБУН «Институт земной коры СО РАН, 664033, г. Иркутск, Россия

² Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

³ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», 664003, г. Иркутск, Россия

³ Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation

✉ e-mail: cta@spirit-irk.ru

✉ e-mail: cta@spirit-irk.ru

Минералого-технологическая оценка отходов ОФ «Прокопьевскуголь»*

Mineralogical-technological assessment of waste from Prokopievskugol Enrichment Plant

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-5-42-46>

КОМАРОВА А.Г.

Ведущий инж.-минер. 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

ЧИКИШЕВА Т.А.

Канд. геол.-минер. наук, младший научный сотрудник отдела комплексного использования минерального сырья ФГБУН «Институт земной коры СО РАН, руководитель минер. 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

После добычи полезных ископаемых образуется большое количество отвалов, до недавнего времени считавшихся бесполезным, отработанным сырьем. В настоящее время они приобретают статус потенциальных месторождений полезных ископаемых, в том числе и угля. На территории Кузбасса отвалы угледобычи занимают огромные площади. Их утилизация является важной геологической и экологической задачей. В работе представлены результаты исследования лежалых хвостов флотации углеобогадательной фабрики «Прокопьевскуголь». Методами технологической минералогии изучены минеральный и мацеральный составы пробы, а также показатели зольности. Авторы установили, что хвосты флотации могут быть вовлечены в переработку в качестве энергетического сырья.

Ключевые слова: отходы углеобогащения, комплексная переработка минерального сырья, лежалые хвосты, Кузнецкий угольный бассейн, минералого-технологическая оценка сырья.

* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.



Для цитирования: Минералого-технологическая оценка отходов ОФ «Прокопьевскуголь» / А.Г. Комарова, Т.А. Чикишева, Е.С. Прокопьев и др. // Уголь. 2024;(5):42-46. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-42-46.

Abstract

After the development of deposits, a large number of mining waste are formed. It was considered useless until recently. Today, they are acquiring the status of potential mineral deposits, including coal. Coal mining waste occupy huge areas in the Kuzbass region. Their disposal is an important geological and environmental mission. The paper contains the results of the sample of flotation tailings study from the Prokopyevskugol coal preparation plant. The mineral composition, coal macerals and ash content were studied using the methods of technological mineralogy. The authors found that flotation tailings can be involved in recycling as energy raw materials.

Keywords

Coal mining waste, complex processing of mineral raw materials, stale tailings, Kuznetsk coal basin, mineralogical and technological assessment of raw materials.

For citation

Komarova A.G., Chikisheva T.A., Prokopiev E.S., Prokopiev S.A. Mineralogical-technological assessment of waste from Prokopievskugol Enrichment Plant. Ugol'. 2024;(5):42-46. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-42-46.

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the complex scientific and technical project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal preparation plant tailings to produce commercial coal concentrate" with the support of the complex scientific and technical programme of full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the field of exploration and production of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consistent reduction of ecological load on the environment and risks for the life of the population", approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 1144-r dated May 11, 2022.

ВВЕДЕНИЕ

Кузнецкий угольный бассейн является одним из наиболее экономически значимых районов России [1]. На его территории насчитывается более 150 угледобывающих и перерабатывающих предприятий, из которых 57 это обогатительные фабрики и установки. Обогащительные фабрики, расположенные на территории Кузбасса, имеют отличные производственные показатели.

К примеру, на обогатительной фабрике «Краснобродская-Коксовая» получают угольный концентрат с зольностью около 8%, а ее производственная мощность составляет 3,5 млн т в год, а обогатительная фабрика «Прокопьевскуголь» в период только с 2005 по 2010 г. переработала свыше 19 млн т рядовых углей, из которых получено 15 млн т высококачественной продукции. И при всех впечатляющих масштабах работы фабрик постоянно наращиваются объемы переработки угольного сырья.

Однако существует и обратная сторона медали – в результате переработки образуются и миллионы тон отходов обогащения, которые занимают значительную территорию и оказывают колоссальную нагрузку на экосистему [2, 3].

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

В последнее время ученые по всему миру проводят исследования горно-промышленных отходов, в том числе и угольных [4, 5, 6, 7, 8, 9], с целью вовлечения их во вторичную комплексную переработку и, таким образом, сокращения их объемов. Угледобывающая отрасль Кемеровской области не является исключением. Вопрос вторичной переработки угольных отходов стоит достаточно остро, необходимо срочное внедрение технологических решений данной проблемы.

Для правильного выбора методов и технологических схем переработки угольных отвалов требуется детальное изучение вещественного состава. Одним из важнейших показателей качества углей является показатель зольности, который напрямую зависит от состава и количества минеральных примесей, содержащихся в нем.

В данной работе содержатся результаты минералогических исследований лежалых хвостов флотации углеобогащительной фабрики «Прокопьевскуголь», проведенных с целью оценки минеральной составляющей, выполненной для подбора технологий получения топливной (угольной) и нетопливной (минеральной) продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оптико-минералогический анализ пробы лежалых хвостов углеобогащительной фабрики «Прокопьевскуголь» выполнялся в минералогическом отделе ООО НПК «Спирит» по методическим рекомендациям НСОММИ [10] 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 [11] MIRA3 LMH TESCAN в центре коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН в режиме обратно-рассеянных электронов и поляризованного микроскопа Olympus BX53-F в научно-учебной лаборатории экспериментальной геологии геологического факультета ИГУ. Исследование производилось по межгосударственным стандартам^{1, 2, 3}.

¹ Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.1-94 (ИСО 7404-1-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 1. Словарь терминов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 23 с.

² Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.2-93 (ИСО 7404-2-85). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 2. Метод подготовки образцов угля. М.: Изд-во стандартов, 1995. 18 с.

³ Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.3-93 (ИСО 7404-3-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 3. Методы определения групп мацералов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 12 с.

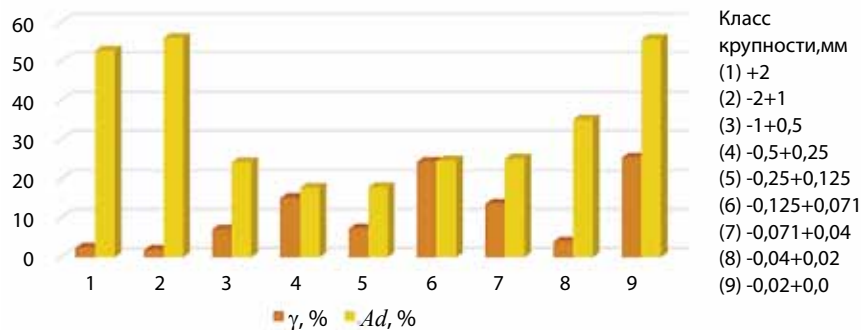


Рис. 1. Показатель зольности и распределение отходов флотации по классам крупности: Ad – показатель зольности, γ – выход класса

Fig. 1. Ash content index and distribution of flotation waste by size classes. Ad is the ash content indicator, γ is the output of the class

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование состава пробы проводилось на классифицированном материале. При изучении распределения материала пробы по классам крупности установлено, что в материале крупностью менее 0,071 мм сосредоточено 42,63% материала пробы, из которых 25,28% приходится на материал крупностью менее 0,020 мм, а показатель зольности в нем составляет 55,6% (рис. 1). Классы крупности +2 мм и -2+1 мм также имеют высокие показатели зольности, и при этом общий выход этого материала составляет всего 4,05 %.

При проведении микроскопических исследований было установлено, что основная масса исследуемой пробы сложена углем – 75,54%. Минеральная составляющая пробы в основном сложена глинистыми минералами (каолинитом и смешанно-слоистыми образованиями), кварцем, полевыми шпатами и обломками пород. В десятых и сотых долях процента обнаружены сульфиды (пирит, халькопирит), гидроксиды железа, слюды и карбонаты. В единичных зернах визуализируются магнетит, апатит, барит и амфиболы.

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ В ОТРАЖЕННОМ И ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ

Исследования образцов в отраженном свете показали, что они представлены каустобиолитами с различным соотношением микрокомпонентов в них, а также вмещающими уголь породами – алевролитами и аргиллитами.

При исследовании каустобиолитов в отраженном свете по визуально наблюдаемым признакам в них было выделено три группы микрокомпонентов (рис. 2) – витринит, липтинит, инертинит, а также минеральные составляющие. Мацералы имеют разную степень сохранности клеточной структуры. Бесструктурные мацералы образуют скопления и слагают полосы, структурные разновидности рассеяны в коллините.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

При исследовании шлифов с помощью сканирующего электронного микроскопа установлено, что в исследуемом материале

дуремых образцах угля содержится значительное количество минеральных включений: кварца, каолинита, полевых шпатов, сидерита, апатита, пирита, халькопирита, барита, рутила и др.

Преимущественно минеральная матрица представлена каолинитом. Каолинит заполняет клеточные полости, встречается в виде линз (рис. 3), прослоек, тонкодисперсных частиц, а также выступает цементирующим веществом во вмещающей уголь породе. Зачастую наблюдаются микропереслаивания угля и минеральных агрегатов, содержащих каолинит и кварц.

В редких случаях в минеритах наблюдаются сульфиды (халькопирит, пирит), гетит, рутил, карбонаты (сидерит, доломит) и барит.

Пирит обнаружен в виде прожилков, а халькопирит – в виде выделений неправильной формы. Гетит и рутил также обнаружены в виде включений неправильной формы. Барит имеет форму игольчатых кристаллов. Доломит заполняет клеточные полости (рис. 4, А), сидерит образует выделения неправильной формы (рис. 4, Б).

Во вмещающих уголь породах, наблюдаются обособления кварца, хлоритов и полевых шпатов, в редких случаях – амфиболов и турмалинов. В составе цементирующей массы отмечаются выделения мусковита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогический анализ лежалых отходов обогатительной фабрики «Прокопьевскуголь» показал, что они являются перспективным техногенным угольным сырьем, так как основная масса исследуемого материала (75,54%) состоит из угля. Кроме того, отходы углеобогащения содержат в себе ряд минералов, которые также можно отнести к потенциально ценным. На основе данных минералогического анализа разработана комплексная технология переработки исследуемого сырья.

Вовлечение лежалых отходов углеобоганительной фабрики «Прокопьевскуголь» во вторичную комплексную переработку даст возможность получать как угольную высококачественную продукцию, так и ряд продуктов с высокими концентрациями различных компонентов, что имеет ряд эко-



Рис. 2. Микрофотография фрагмента аншлиф-брикета. Отраженный свет, анализатор выключен, Vt_t – телинит, Vt_k – коллинит, L_{sp} – споринит

Fig. 2. Micrography of a fragment of an anshliff briquette.

Reflected light, analyzer off, Vt_t – telinite, Vt_k – collinite, L_{sp} – sporinite

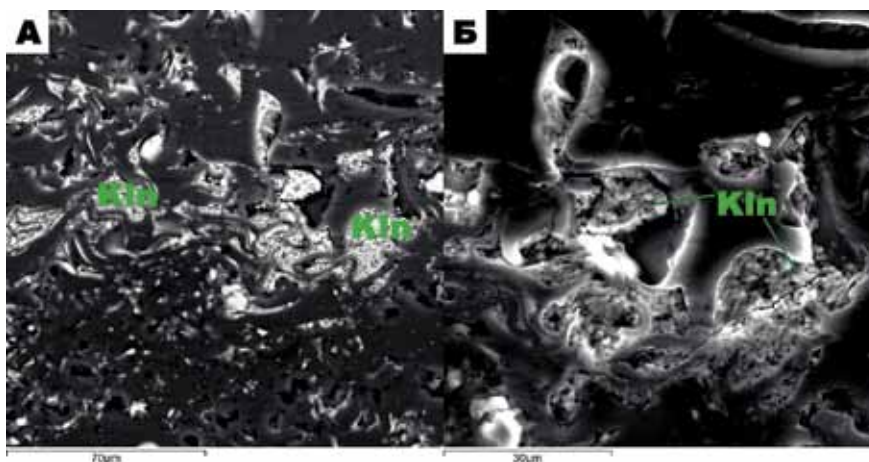


Рис. 3. Микрофотографии фрагментов аншлиф-брикета.

Изображение во вторичных электронах. Kln – каолинит

Fig. 3. Micrographs of fragments of the anshliff briquette.

The image is in secondary electrons. Kln – kaolinite

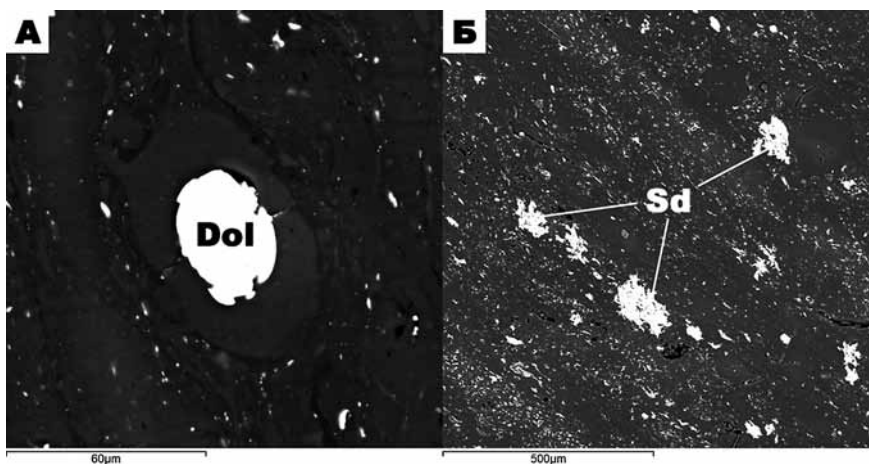


Рис. 4. Микрофотографии фрагментов аншлиф-брикета: А – доломит (Dol), заполняющий клеточные полости; Б – выделения сидерита (Sd) в угле (черное). Изображение в обратнорассеянных электронах

Fig. 4. Micrographs of fragments of the anshliff briquette: А – dolomite (Dol) filling the cell cavities; Б – siderite (Sd) secretions in the coal (black). Image in backscattered electrons

номических и экологических преимуществ. Полученный угольный концентрат может быть использован как энергетическое сырье, а оставшийся после извлечения угля материал – как потенциальное сырье для строительной промышленности.

Список литературы • References

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. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51–58.
Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A. Regularities of restoration of vegetation cover on the dumps of Kuzbass. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal*. 2016;(2):51-58. (In Russ.).
3. 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.
Kutepov Yu.I., Kutepova N.A., Vasilyeva A.D., Mukhina A.S. Engineering-geological and environmental problems during operation and recultivation of high dumps at Kuzbass sections. *Gornyj informatsionno-analyticheskij byulleten'*. 2021;(8):164-178. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-8-0-164.
4. Ali Ucar, Oktay Sahbaz, Nezahat Ediz, Ismail Goktay Ediz. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods. *Madencilik – Mining*. 2023;62(1):7-15. <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260>.
5. Debjani N., Bidyut D., Rashmi S., Santosh S., Ajinkya M., Pratik Swarup D. Effect of grinding behavior on liberation of coal macerals. *ISIJ International*. 2022;62(1):99-103. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-209>.
6. Jay N. Meegoda, Li-ming HU, Nabil M.A. AL-Joulani. Solid waste and ecological issues of coal to energy. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*. April 2021:99-107. DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.1944-8376.0000071.
7. Menshikova E., Blinov S., Belkin P., Ilaltdinov I., Volkova M. Dumps of the Kizel coal basin as a potential source of rare and rare-earth elements. *Science and Global Challenges of the 21st Century*, 2022, LNNS 342, pp. 352-361. <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1007%2F978-3-030-89477-1-35>.
8. Nguyen Cong Thang, Nguyen Van Tuan. The potential use of waste rock from coal mining for the application as recycled aggregate in concrete. *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*. 2021;(1):550-561. DOI: 10.1007/978-3-030-60839-2-29.
9. Yoginder P. Chugh, Paul T. Behum. Coal waste management practices in the USA: an overview. *International Journal of Coal science and technology*. 2014;1(2):163-176. DOI: 10.1007/s40789-014-0023-4.
10. Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб: Методические рекомендации № 162. Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2012. 23 с.
11. 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.
Gamov M.I., Mentor A.V., Vyvalov V.I. Results of the use of scanning electron microscopy for the study of mineral components of coals. *Gornyj informatsionno-analyticheskij byulleten'*. 2016;(1):10-23. (In Russ.).

Authors Information

Komarova A.G. – Leading mineralogist engineer, LLC SPC “Spirit”, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Lecturer of Department of Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrography, Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation, e-mail: kag@spirit-irk.ru

Chikisheva T.A. – PhD (Geology and Mineralogy), Head of mineralogical department, LLC SPC “Spirit”, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Research Associate, Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Associate Professor of Department of Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrography, Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation, e-mail: cta@spirit-irk.ru

Prokopiev E.S. – Director for technology and innovation, LLC SPC “Spirit”, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Research Associate, Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: pes@spirit-irk.ru

Prokopiev S.A. – PhD (Engineering), General Director, LLC SPC “Spirit”, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Chief Department of Comprehensive Use of Mineral Resources, Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: psa@spirit-irk.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 9.04.2024

Поступила после рецензирования: 16.04.2024

Принята к публикации: 26.04.2024

Paper info

Received April 9, 2024

Reviewed April 16, 2024

Accepted April 26, 2024