



Предварительная минералогическая оценка отходов углеобогащительной фабрики «Кузнецкая»

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

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск
chikishevatyana@mail.ru, stayse4ka16@mail.ru, sapr100@mail.ru, prokopyeves@mail.ru

²Иркутский государственный университет, Иркутск

³ООО НПК «Спирит», Иркутск

Зачастую при решении производственных задач для общего понимания состава сырья и выбора метода его переработки достаточно провести предварительную оценку методом оптико-минералогического анализа на начальных этапах технологических изысканий, что также поможет определить вектор дальнейших исследований. Материалом первичной минералогической оценки являлась проба отходов центральной обогатительной фабрики «Кузнецкая». При проведении минералогического изучения был использован метод оптико-минералогического анализа. Отходы фабрики отнесены к техногенному минеральному сырью первой группы. Показана необходимость вовлечения отходов угледобычи в повторную комплексную переработку с обязательным проведением минералого-технологической оценки, определяющей методы подготовки сырья к переработке и технологию его обогащения. Сделан вывод, что для первичной концентрации угля из хвостов можно применить гравитационные методы обогащения.

Ключевые слова: минералогия угольных месторождений, оптико-минералогический анализ, техногенные минеральные отходы, отходы угледобычи, комплексная переработка минерального сырья.

Preliminary mineralogical assessment of the Kuznetskaya coal preparation plant wastes

T. A. Chikisheva^{1, 2, 3}, A. G. Komarova^{2, 3}, S. A. Prokopyev^{1, 3}, E. S. Prokopyev^{1, 3}

¹Institute of the Earth Crust SB RAS, *chikishevatyana@mail.ru*

²Irkutsk State University

³LCC Research and production company «Spirit»

A preliminary assessment by the optical-mineralogical analysis can often be sufficient to solve production tasks, to study the raw composition, and to choose a processing method at the initial stages of technological researches. Such an assessment will also help to determine the vector of further studies. The material for the primary mineralogical assessment was a waste sample from the Kuznetskaya Central Processing Plant. We used the method of optical-mineralogical analysis during the mineralogical study. Factory wastes are related to the technogenic mineral raw of the first group. We have shown that it is necessary to involve coal mining wastes in the comprehensive recycling with the obligatory mineralogical and technological assessment to determine methods of preparing raw for processing and technology of its enrichment. Our conclusion is that gravity processing methods can be used for the primary concentration of coal from tailings.

Keywords: *mineralogy of coal deposits, optical-mineralogical analysis, technogenic mineral wastes, coal mining wastes, comprehensive processing of mineral raw materials.*

Введение

По масштабам сырьевой базы угля Россия занимает четвертое место в мире. Значительная часть действующих шахт и разрезов находится в Кузнецком бассейне Кемеровской области — Кузбассе, который обеспечивает более половины отечественной угледобычи — 53 % в 2020 году [8] (рис. 1).

Такие объёмы угледобычи неизбежно влекут за собой формирование огромных масс горнопромышленных отходов, вызывают опасные, а порой и катастрофические изменения в экосистеме и сопровождаются разрушением литологической основы, уничтожением почвенного покрова, растительного и животного мира [2]. По данным Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и кар-

тографии по Кемеровской области — Кузбассу, площадь нарушенных земель оценивается в 174.8 тыс. га, что в 12.5 раза (0.75 % площади) превышает среднероссийские показатели (0.06 %) [11]. Таким образом, проблема комплексной и безотходной переработки угольного сырья и промышленных отходов на сегодняшний день является актуальной задачей, требующей незамедлительного решения, что также соотносится с положениями «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года», утверждённой распоряжением Правительства РФ № 84-р от 25 января 2018 года [9].

В рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и

Для цитирования: Чикишева Т. А., Комарова А. Г., Прокопьев С. А., Прокопьев Е. С. Предварительная минералогическая оценка отходов углеобогащительной фабрики «Кузнецкая» // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 44–48. DOI: 10.19110/geov.2022.12.6

For citation: Chikisheva T. A., Komarova A. G., Prokopyev S. A., Prokopyev E. S. Preliminary mineralogical assessment of the Kuznetskaya coal preparation plant wastes. Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 44–48, doi: 10.19110/geov.2022.12.6



Рис. 1. Распределение добычи угля между субъектами РФ, млн т [8]

Fig. 1. Distribution of coal production between the constituent entities of the Russian Federation, million tons

внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твёрдых 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», утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 года, между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Институтом земной коры СО РАН было заключено соглашение на проведение научно-исследовательской работы по теме «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата».

Переработка техногенных отходов является актуальной и масштабной задачей для отечественной промышленности. По сути, речь идет о создании новой отрасли, которая должна будет вовлекать во вторичный передел накопленные за многие годы техногенные отвалы и снизит количество вновь складированных отходов [1, 4, 5, 12, 13]. Помимо решения остро стоящего вопроса снижения негативного воздействия накопленных отходов на окружающую среду, внедрение соответствующих технологий должно повысить конкурентоспособность угольной промышленности и способствовать развитию регионов угледобычи [10].

Для создания технологии комплексной переработки горнопромышленных отходов необходимо тщательное изучение их вещественного состава, особенностей строения минеральных агрегатов и выявление форм нахождения потенциально опасных элементов [3]. Эту задачу невозможно решить без применения современных методов минералогического анализа с позиций двух главных направлений: технологической минералогии и динамично развивающейся в последние годы экологической минералогии, которые тесно связаны между собой. Для глубокой минералогической оценки требуется проведение детальных исследова-

ний с использованием высокоточной приборной базы, которые занимают много времени. Однако для первичной минералогической оценки, осуществления прогнозов и выбора метода предварительной концентрации минерального сырья, основанного на контрастности физических свойств минералов, достаточно использовать метод оптико-минералогического анализа, который проводится в соответствии с нормативно-методическими документами [7].

Цель статьи — показать возможности первичного минералогического анализа отходов угледобычи при оценке вероятности их вовлечения в повторную комплексную переработку.

Краткая геологическая характеристика Кузнецкого угольного бассейна

Кузнецкий угольный бассейн представляет собой угленосную толщу, которая сложена осадочными образованиями чехла платформы. В центральных частях бассейна мощность чехла составляет приблизительно 10 км, по направлению к периферийным частям мощность осадочных пород постепенно уменьшается и выклинивается на окраинах. На территории Кузнецкого бассейна выделяются следующие геолого-генетические комплексы пород:

- четвертичного возраста (Q_{3-4});
- палеогена и неогена (Р и N);
- континентальных отложений мезозоя (Mz);
- континентальных угленосных отложений кольчугинской серии (P_2);
- лагунно-континентальных угленосных отложений балахонской серии ($C_{2-3}-P_1b$);
- морских отложений (D_1-C_1t+v);
- магматических горных пород (базальты, долериты, граниты, диабазы).

Угленосные отложения кольчугинской и балахонской серий представлены переслаивающейся толщей

конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов, аргиллитов, известняков и угольных пластов с линзами глинистых и алевритовых известняков. Обломочные породы состоят преимущественно из кварца, полевых шпатов, эффузивов и кремнистых пород, в единичных зёрнах отмечаются обломки циркона, граната, турмалина и рутила. Цемент глинисто-кремнистый, глинисто-слюдистый или глинисто-карбонатный [6].

Материалы и методы исследования

Материалом первичной минералогической оценки являлась проба отходов центральной обогатительной фабрики «Кузнецкая» (ЦОФ «Кузнецкая») Новокузнецка. На фабрике обогащается угольное сырьё с шахт «Осинниковская», «Есаульская», «Ерунаковская-VIII», «Усковская», разреза и шахт «Распадской», а также шахты «Межегейуголь».

Минеральный состав определён методом оптико-минералогического анализа в соответствии с нормативно-методическими документами научного совета по минералогическим методам исследований (НСОММИ): № 162 «Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб» с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа «Микромед МС-2 ZOOM» [7]. Предварительно изучаемый материал классифицировался по классам крупности с помощью набора лабораторных сит и далее был подвергнут гравитационному фракционированию в бромформе (плотность 2.9 г/см³) и разделению тяжёлых фракций магнитом Сочнева.

Результаты и их обсуждение

Гранулометрический и минеральный состав отходов ЦОФ «Кузнецкая». Определение минерального состава исходной пробы выполнялось на классифицированном материале с предварительным гравитационным и магнитным фракционированием.

В целом качественный минеральный состав отходов ЦОФ соотносится с минеральным составом исходных угленосных отложений. Количественные данные содержания минералов и минеральных агрегатов представлены в виде круговой диаграммы (рис. 2).

По данным диаграммы видно, что основную массу пробы (78.08 %) составляют карбонатно-углистые

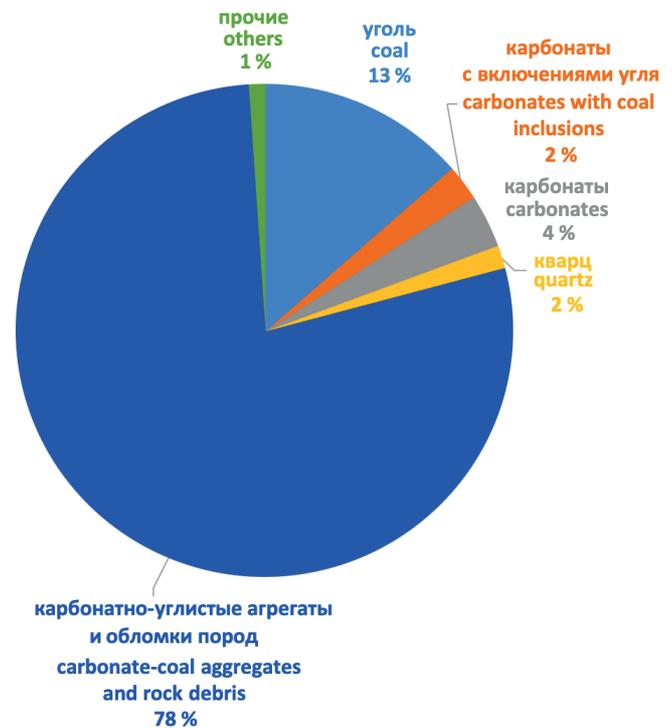


Рис. 2. Количественный минеральный состав пробы отходов ЦОФ «Кузнецкая»

Fig. 2. Quantitative mineral composition of a waste sample from the Kuznetskaya Processing Plant

агрегаты и обломки пород. Уголь составляет 13.50 % от всей массы пробы. На долю карбонатных минералов приходится 3.51 % и еще 2.33 % — на агрегаты карбонатных минералов с включениями угля. В небольших количествах отмечаются кварц (1.5 %) и прочие минералы: гидроксиды железа (0.17 %), магнетит (0.24 %), сульфиды (пирит, халькопирит — суммарно 0.65 %) и барит (0.01 %). В единичных зёрнах отмечены пироксены, амфиболы, эпидот, клейофан, хлорит и циркон.

Данные минералогического анализа позволяют сделать вывод, что изучаемый материал относят к техногенным минеральным отходам первой группы, т. е. сырьё сходно по своему вещественному составу и свойствам с природным [3]. Потенциально такое сырьё можно вовлечь во вторичную переработку, применяя те же методы обогащения, которые используются на обогатительной фабрике при переработке первичного сырья.

Таблица 1. Результаты гравитационного фракционирования

Table 1. Results of gravity fractionation

Фракция / Fraction	Выход, % / Yield, %	Качественный минеральный состав / Qualitative mineral composition
Легкая (<2.9 г/см ³) / Light (<2.9 g/cm ³)	67.42	Карбонаты, уголь, кварц, обломки пород, карбонат-углистые агрегаты Carbonates, coal, quartz, rock fragments, carbonate-coaly aggregates
Тяжёлая (>2.9 г/см ³) / Heavy (>2.9 g/cm ³)	32.58	Магнетит, гидроксиды железа, сульфиды, карбонаты, карбонаты с примесью угля, амфиболы, пироксены, эпидот, барит, хлорит, клейофан, циркон, обломки пород Magnetite, iron hydroxides, sulfides, carbonates, carbonates with coal admixture, amphiboles, pyroxenes, epidote, barite, chlorite, cleophane, zircon, rock fragments
Итого / Total	100.00	



Рис. 3. Гистограмма распределения материала пробы по классам крупности

Fig. 3. Histogram of sample material distribution by size classes

Гранулометрическая характеристика исследуемого материала проиллюстрирована на гистограмме, приведённой на рисунке 3. Результаты гравитационного фракционирования представлены в таблице 1.

Результат гранулометрического анализа показал, что проба на 63.64 % представлена материалом крупностью более 2 мм, на диапазон крупности $-2+0.125$ мм приходится 33.88 % материала, выход шламистых классов ($-0.125+0.00$ мм) составил 2.48 %. По данным минералогического анализа, в крупных классах сосредоточены фрагменты углесодержащих обломочных и карбонатных пород и минеральные агрегаты карбонатно-углистого состава с присутствием в них обломочных зёрен кварца. В материале крупностью менее 2 мм наблюдаются как обломки углей, освобождённые от сростаний, так и их агрегаты с породообразующими минералами. Визуально наблюдаемые мономинеральные выделения угля появляются только в крупности менее 0.125 мм.

Основываясь на данных таблицы 1, можно сделать вывод, что для первичной концентрации угля из хвостов ЦОФ можно применить гравитационные методы обогащения. Однако необходимо обратить внимание на присутствие в обогащаемом материале минералов с переменной плотностью — карбонатов, которые могут распределяться как в хвосты обогащения, так и в черновые концентраты. Кроме того, в изучаемом материале есть минеральные агрегаты карбонат-углистого состава, имеющие переменные содержания в них угля и карбонатов и, как следствие, варьирующую плотность. Они могут распределяться в разные продукты обогащения в зависимости от плотности каждого отдельно взятого минерального агрегата, а также повышать зольность конечного продукта за счёт разубоживания угольного концентрата породообразующими минеральными фазами в составе обломков пород и агрегатов. Эти факторы требуют пристального внимания при подборе режимных параметров обогащения хвостов ЦОФ и, возможно, возникнет необходимость создания в технологической схеме промпроводного цикла с перспективой дальнейшего доизвлечения ценного компонента из этих продуктов.

Минералами ферро- и парамагнетиками в данной пробе являются магнетит, гидроксиды железа, пироксены и амфиболы. В изучаемой пробе они не визуализируются в сростаниях с углем и при гравитационном

обогащении не будут распределяться с ним в один продукт, поскольку обладают большей плотностью и, как следствие, контрастностью гравитационных свойств по отношению к углю. При дальнейших исследованиях возможности переработки и утилизации отвальных продуктов первичного обогащения их можно будет извлекать методами магнитной сепарации.

Очевидна также необходимость проведения подготовки такого материала к обогащению с обязательной предварительной дезинтеграцией и грохочением.

Выводы

Отходы ЦОФ «Кузнецка» отнесены к техногенному минеральному сырью первой группы. Показана необходимость вовлечения отходов угледобычи в повторную комплексную переработку с обязательным проведением минералого-технологической оценки, предваряющей разработку технологии их обогащения. Выполнено предварительное прогнозирование распределения минеральных составляющих пробы хвостов ЦОФ по продуктам обогащения. В перспективе с целью повышения комплексности переработки отходов целесообразно провести минералого-технологическую оценку хвостов обогащения отходов угледобычи с целью оценки перспективы их применения в различных отраслях народного хозяйства. Более уверенные и развёрнутые выводы можно будет сделать после проведения детального минералогического изучения с использованием арсенала современных аналитических методов исследований.

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».

Литература

1. Котова О. Б., Ожогина Е. Г., Шиенг Сан, Размыслов И. Н. Технологическая минералогия как основа комплексного освоения полезных ископаемых. Бокситы Верхне-Щугорского месторождения // Горный журнал. 2021. № 11. С. 21–27.
2. Куприянов А. Н., Мананков Ю. А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51–58.



3. Ожогина Е. Г., Шадрунова И. В., Чекушина Т. В. Роль минералогических исследований в решении экологических проблем горнопромышленных районов // Горный журнал. 2017. № 11. С. 105–110. DOI: 10.17580/gzh. 2017.11.20

4. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49

5. Ожогина Е. Г., Котова О. Б. Технологическая минералогия в решении проблем комплексной переработки минерального сырья // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения — 2021) / СГКГМИ (ГТУ). Владикавказ, 2021. С. 34–38.

6. Ольховатенко В. Е. Инженерная геология угольных месторождений Кузнецкого бассейна. Томск: Изд-во Том. гос.архит.-строит. ун-та, 2014. 150 с.

7. Оптико-минералогический анализ шлиховых и дроблёных проб: Методические рекомендации № 162 / Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2012. 23 с.

8. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: государственный доклад / Гл. ред. Е. И. Петров, Д. Д. Тетенькин // Государственные доклады / Минприроды России. URL: mnr.gov.ru (дата обращения: 31.10.2022).

9. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. URL: y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf (government.ru) (дата обращения: 31.10.2022).

10. Сосновский С. А., Сачков В. И. Комплексная переработка техногенного углесодержащего сырья // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения — 2021) / СГКГМИ (ГТУ). Владикавказ, 2021. С. 498–501.

11. Фотина Н. В., Емельяненко В. П., Воробьева Е. Е., Бузова Н. В., Остапова Е. В. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях Кемеровской области — Кузбасса // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 869–882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882

12. Чантурия В. А., Ожогина Е. Г., Шадрунова И. В. Задачи экологической минералогии при освоении недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 5. С. 193–196.

13. Ozhogina E. G., Kotova O. B. «How technological mineralogy can solve problems of integrated processing of mineral raw», Sustainable Development of Mountain Territories, 2021, №2 (48), pp. 170–179. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-170-178

References

1. Kotova O. B., Ozhogina E. G., Shieng San, Razmyslov I. N. *Tekhnologicheskaya mineralogiya kak osnova kompleksnogo osvoeniya poleznyh iskopaemyh. Boksity Verhne-Schugorskogo mestorozhdeniya* (Technological mineralogy as the basis for the integrated development of minerals. Bauxites of the Verkhne-Schugorsk deposit). Mining Journal, 2021, No. 11, pp. 21–27.

2. Kupriyanov A. N., Manakov Yu. A. *Zakonomernosti vosstanovleniya rastitelnogo pokrova na otvalah Kuzbassa* (Patterns

of restoration of vegetation cover on the dumps of Kuzbass). Siberian Forest Journal, 2016, No.2, pp. 51–58.

3. Ozhogina E. G., Shadrnunova I. V., Chekushina T. V. *Rol mineralogicheskikh issledovaniy v reshenii ekologicheskikh problem gornopromyshlennykh rajonov* (The role of mineralogical research in solving environmental problems in mining areas). Mining Journal, 2017, No. 11, pp. 105–110. DOI: 10.17580/gzh. 2017. 11.20

4. Ozhogina E. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. *Gornopromyshlennye othody: mineralogicheskie osobennosti* (Mining wastes: mineralogical features). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 6, pp. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49

5. Ozhogina E. G., Kotova O. B. *Tekhnologicheskaya mineralogiya v reshenii problem kompleksnoy pererabotki mineral'nogo syr'ya* (Technological mineralogy in solving the problems of complex processing of mineral raw materials). Plaksin Readings 2021, SGKGM (GTU), Vladikavkaz, 2021, pp. 34–38.

6. Sosnovskij S. A., Sachkov V. I. *Kompleksnaya pererabotka tekhnogennoy uglestoderzhashchego syr'ya* (Complex processing of technogenic coal-containing raw materials). Plaksin Readings 2021, SGKGM (GTU), Vladikavkaz, 2021, pp. 498–501.

7. Fotina N. V., Emelyanenko V. P., Vorobeva E. E., Buзова N. V., Ostapova E. V. *Sovremennyye biologicheskiye metody vosstanovleniya i ochistki narushennykh ugledobychey zemel' v usloviyakh Kemerovskoy oblasti — Kuzbassa* (Modern biological methods of restoration and cleaning of lands disturbed by coal mining in the conditions of the Kemerovo region — Kuzbass). *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* (Technics and technology of food industry), 2021, V.51, No. 4, pp. 869–882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882

8. Chanturiya V. A., Ozhogina E. G., Shadrnunova I. V. *Zadachi ekologicheskoy mineralogii pri osvoenii nedr Zemli* (Tasks of ecological mineralogy in the development of the subsoil of the Earth). *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* (Physical-technical problems of development of mineral resources), 2016, No. 5, pp. 193–196.

9. Ozhogina E. G., Kotova O. B. How technological mineralogy can solve problems of integrated processing of mineral raw, Sustainable Development of Mountain Territories, 2021, No. 2 (48), pp. 170–179. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-170-178

10. Olkhovatenko V. E. (2014) *Inzhenernaya geologiya ugolnykh mestorozhdeniy Kuznetskogo bassejna* (Engineering geology of Kuznetsk basin coal deposits), Tomsk: State Buidling Institute, 150 p.

11. *O sostoyanii i ispolzovanii mineralno-syrevykh resursov Rossijskoj Federacii v 2020 godu: gosudarstvennyj doklad* (Condition and use of mineral resources of Russina Federation in 2020: State report). Ed. Petrov E.I., Tetenkin D.D. http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady (access date 31.10.2022).

12. *Strategiya razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizacii i obvezrevhivaniyu othodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda* (Strategy of development of industry for processing, utilization and disposal of wastes till 2030). URL: y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf (government.ru) (access date: 31.10.2022).

13. *Optiko-mineralogicheskij analiz shlihovyyh i droblyonykh prob: Metodicheskiye rekomendacii №162* (Optical-mineralogical analysis of sediment and fractured samples: methodical recommendations No. 162). Scientific Committee for mineralogical study methods, Moscow: VIMS, 2012.

Поступила в редакцию / Received 11.11.2022