

7. Cherkasova T.G., Isakova I.V., Tikhomirova A.V., Cherkasova E.V. & Golovachev A.A. Identification of industrially significant rare elements condition in ash and slag wastes of Kuzbass. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, (5), pp. 37-44. (In Russ.).
8. Bychkova Ya.V., Sinitsyn M.Yu., Petrenko D.B., Nikolaeva I.Yu., Bugaev I.A. & Bychkov A.Yu. Specific features in methodology of multi-element analysis of rocks using inductively coupled plasma mass spectrometry. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya: 4. Geologiya*, 2016, (6) (In Russ.).
9. Zarubina N.V., Blokhin M.G., Ostapenko D.S. et al. Analytical approaches to the quantitative determination of the chemical elements content in coals and coal rocks using ICP-MS and INAA methods. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021. Vol. 332, (3), pp. 99-112 (In Russ.).

Acknowledgements

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1194).

For citation

Cherkasova T.G., Pilin M.O., Tikhomirova A.V. & Barancev D.A. Determination of composition of coal processing wastes of the Berezovskaya Central Concentrating Mill. *Ugol'*, 2023, (9), pp. 90-95. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-90-95.

Paper info

Received July 27, 2023

Reviewed August 14, 2023

Accepted August 25, 2023

Оригинальная статья

УДК 552.574 © Н.Ю. Турецкая, Т.А. Чикишева, Е.С. Прокопьев, К.К. Емельянова, 2023

Перспективы получения товарного продукта из отходов флотации угольных фабрик*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-95-99>

В статье приведены результаты изучения вещественного состава исходной пробы и данные технологических испытаний. Установлено, что представленное сырье является труднообогатимым. В основной своей массе оно состоит из глинистых минералов крупностью менее 20 мкм, присутствующий уголь находится как в виде отдельных зерен, так и в виде минеральных агрегатов. В процессе проведения технологических испытаний по гравитационной схеме обогащения удалось дополнительно извлечь из сырья угольный продукт.

Ключевые слова: угольные шламы, обогащение, товарный продукт, винтовая сепарация, переработка угольных шламов, экологически чистая технология, отходы флотации (кек).

Для цитирования: Перспективы получения товарного продукта из отходов флотации угольных фабрик / Н.Ю. Турецкая, Т.А. Чикишева, Е.С. Прокопьев и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 95-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-95-99.

* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта 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.

ТУРЕЦКАЯ Н.Ю.

Ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья Института Земной коры СО РАН, Руководитель группы обогащения углей и золошлаковых отходов ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия e-mail: tny@spirit-irk.ru

ЧИКИШЕВА Т.А.

Канд. геол.-минер. наук, младший научный сотрудник отдела комплексного использования минерального сырья Института Земной коры СО РАН, заведующая минералогической лабораторией ООО НПК «Спирит», доцент кафедры полезных ископаемых Иркутского государственного университета, 664003, г. Иркутск, Россия e-mail: cta@spirit-irk.ru

ПРОКОПЬЕВ Е.С.

Младший научный сотрудник
отдела комплексного
использования минерального сырья
Института Земной коры СО РАН,
директор по технологиям и инновациям
ООО НПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: pes@spirit-irk.ru

ЕМЕЛЬЯНОВА К.К.

Руководитель группы
обогащения руд и техногенных
месторождений черных металлов
ООО НПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: ikk@spirit-irk.ru

ВВЕДЕНИЕ

Угольная отрасль занимает неотъемлемую часть в энергетике страны и вносит значительный вклад в ее национальную безопасность и социально-экономическое развитие. Согласно энергетической стратегии развития страны одной из основных задач угольной промышленности является увеличение производственных объемов¹. С наращиванием производственных мощностей объемы отходов угледобычи значительно возрастут, в одной только Кемеровской области ежегодно накапливается свыше 2 млн т отходов, которые представляют – породные, вскрышные отвалы, шламонакопители и гидроотвалы обогатительных фабрик [1]. Поскольку вопросы энергосбережения, экологии и безопасности [2, 3, 4, 5, 6] на сегодняшний день являются актуальными и требуют особого внимания, полученные отвалы необходимо рассматривать как потенциальное сырье для получения дополнительной продукции [7, 8, 9].

Министерством науки и образования Российской Федерации была учреждена комплексная научно-техническая программа, которая утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г. В рамках данного проекта необходимо разработать технологию обогащения угольных шламов, которая будет применима ко всем угольным отходам.

Угольные отвалы разных обогатительных фабрик отличаются по своему гранулометрическому составу. Основная их масса представлена тонкодисперсными угольными шламами с высоким показателем зольности. Существующие технологии, которые эффективно способны выделять углесодержащие фракции менее 0,5 мм [10,11,12] главным образом основаны на применении флотационных методов обогащения, которые к сожалению, не отвечают экологическим требованиям. Следовательно, необходимо разрабатывать и искать пути внедрения новых технологий, эффективных с точки зрения экономики и экологии [13,14]. С решением такой сложной задачи можно справиться, используя гравитационный метод обогащения, одним из которых является винтовая сепарация, которая считается экологически чистой поскольку в ней не используются никакие реагенты. Возможность применения данного метода активно изучается и уже получены первые положительные результаты [15]. Поэтому цель настоящей работы заключалась в изучении возможности применения винтовой сепарации на отходах флотации (кек).

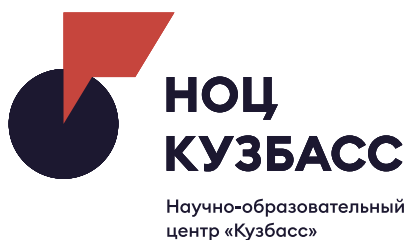
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований стала технологическая проба, отобранная из отходов флотации (кек) ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала УК «УРК» «Краснобродский угольный разрез». Определение зольности сухого топлива исходной пробы и продуктов обогащения выполнено методом ускоренного озольнения (Лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»). Оптико-минералогический анализ исходной пробы выполнялся в минералогическом отделе ООО НПК «Спирит» по методическим рекомендациям НСОММИ с применением стереомикроскопа Микромед МС-2-ZOOM 2CR. Рентгенографический анализ выполнялся в центре коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН на дифрактометре ДРОН-3.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение вещественного состава исходной пробы выполнено при помощи гранулометрического и минералогического анализов, в ходе

¹ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденная правительством РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р.



которых было установлено (рис. 1), что исследуемое сырье на 53,89% представлено материалом крупностью менее 20 мкм с зольностью сухого топлива 40,5%.

В материале более 0,125 мм с выходом 10,25% показатели зольности сухого топлива варьируют от 57 до 81%. Зольность сырья, входящего в диапазон крупности от 0,125 мм до 20 мкм, составляет 26,61% с выходом 30,74%.

Из данных минералогического анализа установлено, что основная масса пробы (73,69%) сложена каменным углем и глинистыми минералами. Основную массу материала пробы крупностью более 0,25 мм составляют минералы и минеральные агрегаты, углистые составляющие в данном диапазоне крупности входят в состав минеральных агрегатов. С уменьшением крупности материала содержание угольных компонентов увеличивается. В диапазоне крупности от 0,25 до 0,020 мм сосредоточено 39,92% угля, который присутствует в нем как в виде отдельных зерен, так и входит в состав минеральных агрегатов (рис. 2).

Анализ полученных данных показал, что присутствие такого большого количества тонкодисперсного шлама повлияет на вязкость пульпы и сегрегационные способности более крупных зерен, поэтому данный материал необходимо будет вывести из обогатительного процесса. Высокий показатель зольности в материале более 0,125 мм свидетельствует о том, что в данном сырье присутствует большое количество минералов и минеральных агрегатов, поэтому вводить его в процесс обогащения нецелесообразно. Практический интерес по всем своим показателям представляет материал, находящийся в диапазоне крупности от 0,125 мм до 20 мкм, поскольку в нем сосредоточено 39,92% угля,

Данные, полученные в ходе изучения вещественного состава, позволили определить продуктивный класс крупности и уточнить предварительные операции подготовки исходного сырья к обогащению.

Грохочение материала выполнено по классу 0,5 мм. Выход надрешетного продукта составил 4,39% с пока-



Рис.1. Гранулометрическая характеристика исходного сырья с показателями зольности сухого топлива по классам крупности

Fig.1. Granulometric characteristics of the feedstock with dry fuel ash content by size class

Класс крупности, мм	Выход, %	Уголь	
		Содержание в классе, % отн.	Распределение, % отн.
+2	0,41	0,08	0,1
-2+1 -1+0,5	1,33 3,69	0,23 0,94	0,4 1,6
-0,5+0,25	4,82	1,75	2,9
-0,25+0,125	5,12	2,19	3,7
-0,125+0,071	4,51	3,02	5,1
-0,071+0,040	14,04	10,95	18,3
-0,040+0,020	12,19	8,58	14,3
-0,020+0,00	53,89	32,06	53,6
Итого:	100,00	59,8	100,0

Рис.2. Данные распределения и содержания угля в исходной пробе по классам крупности

Fig.2. Data on the distribution and content of coal in the initial sample by size class

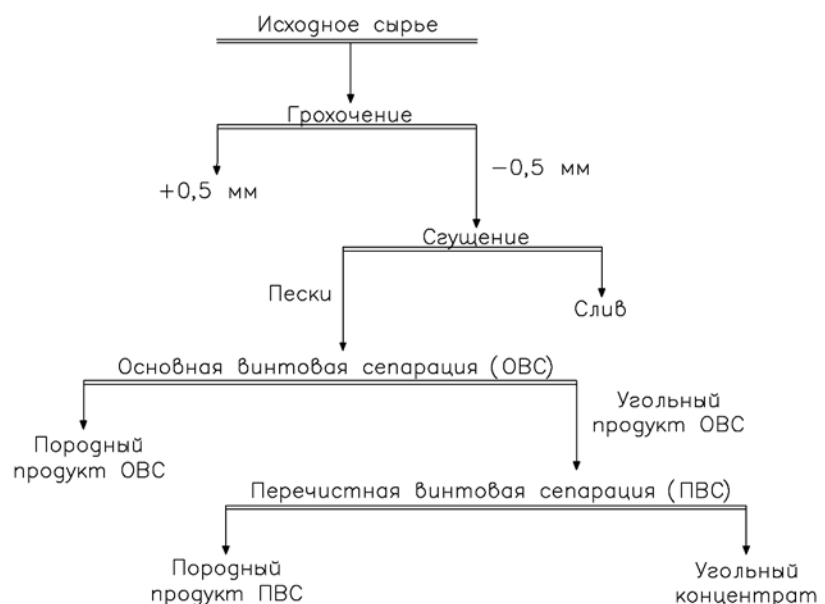


Рис.3. Схема обогащения технологического испытания на исходном сырье

Fig.3. Scheme of enrichment of the technological test on the feedstock



Рис.4. Данные гранулометрического анализа угольного концентрата с показателями зольности в каждом классе крупности

Fig.4. Data of granulometric analysis of coal concentrate with ash content in each size class

зателем зольности сухого топлива 80,5%. Подрешетный продукт грохота был отправлен на операцию сгущения (операция выполнена при помощи гидроциклона), цель которого заключалась в выведении тонкодисперсного шламистого материала, выход которого составил 64,70% с показателем зольности сухого топлива 36,02%. После проведения вышеуказанных операций зольность сухого топлива в питании винтовой сепарации (пески гидроциклона) составила 43,16%. Последующее обогащение сырья выполнено при помощи винтовой сепарации (ВС), которая была проведена в две стадии: основная винтовая сепарация (ОВС) и последующая перечистная операция на угольном продукте ОВС.

В ходе технологического испытания по представленной схеме обогащения (рис. 3.) удалось получить угольный концентрат с показателем зольности сухого топлива 25%. Выход продукта составил 15,01%.

На полученном угольном концентрате был выполнен гранулометрический анализ показателей зольности сухого топлива в каждом классе крупности. Полученные данные (рис. 4.) позволяют сделать вывод, что для получения угольного концентрата более высокого качества недостаточно одной операции сгущения, поскольку в нем присутствует большое количество материала (53,4%) крупностью менее 20 мкм с показателем зольности сухого топлива, равным 36,5%. В материале более 20 мкм показатель зольности сухого топлива варьирует от 21 до 8%. Если снизить количество тонкодисперсного материала в угольном концентрате, то его качество будет значительно выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытуемый материал является весьма труднообогащаемым, поскольку в основной своей массе он состоит из крупности менее 20 мкм. Присутствующий в пробе уголь находится как в виде отдельных зерен, так и в виде минеральных агрегатов, а с уменьшением крупности материала увеличивается содержание угольных компонентов. Из данных, полученных в ходе технологических испыта-

ний, установлено, что по гравитационной технологии обогащения удалось доизвлечь из сырья дополнительный угольный продукт с показателем зольности сухого топлива, равным 25% с выходом 15%, что подтверждает возможность применения продемонстрированной технологии.

Угольные отвалы состоят из материала различной крупности – от крупнокусковых до тонкодисперсных шламов, имея при этом различные показатели зольности сухого топлива. В данной работе была продемонстрирована универсальность разработанной технологии обогащения и показана возможность ее применения на отходах флотации.

Список литературы

1. Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углесодержащих отходов шламохранилища западносибирского металлургического комбината // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 446-457.
2. Качурин Н.М., Воробьев С.А., Чистяков Я.В. и др. Экологические последствия закрытия угольных шахт Кузбасса по газодинамическому фактору и опасности эндогенных пожаров на отвалах // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 4. С. 54-58.
3. Дамба А., Станис Е.В. Использование комплексной геоэкологической оценки в экологическом аудите при разработке угольных месторождений Монголии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 2. С. 100-106.
4. Киреев С.А. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 62-71.
5. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах / О.М. Зиновьева, Л.А. Колесникова, А.М. Меркулова и др. // Уголь. 2020. № 10. С. 62-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.
6. Behera Sahu H. Coal mine waste characterization and defluorination property. February. 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13244. Heliyon 9(6):e13244.
7. Kopyayeva A.N., Portnov S., Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). January. 2020. DOI:10.33271/nvngu/2021-5/011.
8. Thang N.C., Tuan N.V., Hiep D.N. The Potential Use of Waste Rock from Coal Mining for the Application as Recycled Aggregate in Concrete. October. 2020. DOI:10.1007/978-3-030-60839-2-29.
9. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods / A. Ucara, O. Sahbaza, N. Ediz et al. February, 2023. DOI: 10.30797/madencilik.1111260.
10. Moszko J.C., Wierzchowski K., Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation. December, 2020. DOI: 10.21203/rs.3.rs-127361/v1.
11. Злобина Е.С. Угольные шламы как сырье для малоотходного производства / Экология и безопасность в техносфере: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Юрга. 27-28. Ноябрь. 2014. С. 64-66.

12. Обзор инновационных процессов и оборудования на предприятиях угледобычи и углепереработки / Е.С. Задавина, Ю.А. Рязанова, А.В. Папин и др. // Ползуновский вестник. 2018. № 2. С. 102-106.
13. Соловеев Н.П., Болотин Н.М. Применение технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 469-480.
14. Мандров Г.А., Счастливцев Е.Л. Переработка угольных шламов в экологически безопасные топлива // Экология и промышленность России. 2007. № 9. С. 34-36.
15. Турецкая Н.Ю., Чикишева Т.А. Обогащение шламов угольных гидроотвалов методом винтовой сепарации // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 436-445.

Original Paper

UDC 552.574 © N.Yu. Turetskaya, T.A. Chikisheva, E.S. Prokopiev, K.K. Emelyanova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 9, pp. 95-99
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-95-99>

Title

THE POSSIBILITY OF OBTAINING A COMMERCIAL PRODUCT FROM COAL FACTORIES FLOTATION WASTE

Authors

Turetskaya N.Yu.^{1,2}, Chikisheva T.A.^{1,2,3}, Prokopiev E.S.^{1,2}, Emelyanova K.K.¹

¹ Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

² LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation

³ Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation

Authors information

Turetskaya N.Yu., Lead engineer, Head of coal and ash waste preparation group, e-mail: tny@spirit-irk.ru

Chikisheva T.A., PhD (Geological and mineralogical), Junior researcher, Head of mineralogical department, Associate Professor, Department of Minerals, e-mail: cta@spirit-irk.ru

Prokopiev E.S., Junior researcher, Director for Technology and Innovation, e-mail: pes@spirit-irk.ru

Emelyanova K.K., Head of the ferrous metals enrichment group, e-mail: ikk@spirit-irk.ru

Abstract

The article presents the results of studying the material composition of the original sample and the data of technological tests. The authors established that the presented raw materials are difficult for enrichment. Mainly it consists of clay minerals with a particle size of less than 20 microns. The coal is found both in the form of individual grains and in the form of mineral aggregates. In the process of carrying out technological tests according to the gravitational enrichment scheme, it was possible to additionally obtain a coal product from the raw material.

Keywords

Coal sludge, Enrichment, Commercial product, Spiral separation, Coal sludge processing, Environmentally friendly technology, Flotation waste (cake).

References

1. Prokopyev E.S. & Alekseyeva O.L. Feasibility study of processing coal-bearing wastes of the sludge storage at the West Siberian Metallurgical Works. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 446-457. (In Russ.).
2. Kachurin N.M., Vorobyev S.A., Chistyakov Ya.V. et al. Environmental consequences of Kuzbass coal mines closure in terms of the gas-dynamic factor and spontaneous fire hazards at the dumps. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2015, Vol. 19, (4), pp. 54-58. (In Russ.).
3. Damba A. & Stanis E.V. Using integrated geo-environmental assessment in environmental auditing during development of Mongolian coal deposits. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2015, (2), pp. 100-106. (In Russ.).
4. Kireyev S.A. Current state and environmental assessment of the impact of rock dumps of coal industry operations. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2022, (1), pp. 62-71. (In Russ.).
5. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Environmental analysis in coal mining regions. *Ugol'*, 2020, No. 10, pp. 62-67. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2020-10-62-67](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-10-62-67).
6. Behera Sahu H. Coal mine waste characterization and defluorination property, February, 2023. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e13244](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244). *Heliyon* 9(6):e13244.
7. Kopobayeva A.N., Portnov S. & Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan), January, 2020. DOI: [10.33271/nvngu/2021-5/011](https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/011).

8. Thang N.C., Tuan N.V. & Hiep D.N. The Potential Use of Waste Rock from Coal Mining for the Application as Recycled Aggregate in Concrete, October, 2020. DOI: [10.1007/978-3-030-60839-2-29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2-29).

9. Ucara A., Sahbaza O., Ediz N. & Karaca S. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods, February, 2023. DOI: [10.30797/madencilik.1111260](https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260).

10. Moszko J.C., Wierzchowski K. & Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation, December, 2020. DOI: [10.21203/rs.3.rs-127361/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1).

11. Zlobina E.S. Coal slimes as raw material for low-waste production. Environment and safety in the technosphere: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Yurga, November 27-28, 2014, pp. 64-66. (In Russ.).

12. Zavadina E.S., Ryzanova Yu.A., Papin A.V. et al. Review of innovative processes and equipment in coal mining and coal processing operations. *Polzunovskij vestnik*, 2018, (2), pp. 102-106. (In Russ.).

13. Soloveyenko N.P. & Bolotin N.M. Application of screw separation technology in coal sludge processing. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 469-480. (In Russ.).

14. Mandrov G.A. & Schastlivets E.L. Processing of coal sludge into environmentally safe fuels. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2007, (9), pp. 34-36. (In Russ.).

15. Turetskaya N.Yu. & Chikisheva T.A. Processing of sludge from coal sludge ponds using the screw separation technique. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 436-445. (In Russ.).

Acknowledgements

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate" with support of the "Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life" Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation on May 11, 2022.

For citation

Turetskaya N.Yu., Chikisheva T.A., Prokopiev E.S. & Emelyanova K.K. The possibility of obtaining a commercial product from coal factories flotation waste. *Ugol'*, 2023, (9), pp. 95-99. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-9-95-99](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-95-99).

Paper info

Received July 7, 2023

Reviewed August 14, 2023

Accepted August 25, 2023