



## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

УДК 552.574

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-4-436-445>Обогащение шламов угольных гидроотвалов  
методом винтовой сепарацииНина Юрьевна Турецкая<sup>a</sup>, Татьяна Александровна Чикишева<sup>b</sup><sup>a,b</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия<sup>a,b</sup>ООО «Научно-производственная компания «Спирит»», г. Иркутск, Россия<sup>b</sup>Иркутский государственный университет, г. Иркутск, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Турецкая Нина Юрьевна, [tny@spirit-irk.ru](mailto:tny@spirit-irk.ru)

**Резюме.** Целью представленного исследования стало изучение возможности получения дополнительного угольного продукта и железосодержащего концентрата из шламов угольного гидроотвала. В ходе проведения исследования был изучен вещественный состав исходных шламов и проведены технологические испытания. Изучение вещественного состава было выполнено при помощи химического, гранулометрического, минералогического анализов, технологические испытания проведены по гравитационно-магнитной схеме обогащения. В качестве основного обогатительного оборудования использован винтовой сепаратор. Доводочная операция выполнена методом мокрой магнитной сепарации. В результате изучения вещественного состава было установлено, что исходные шламы гидроотвала представлены углями: на 44,7 % каменным углем и на 43,32 % бурым. Основная масса каменного угля распределяется в диапазоне крупности -2+0,25 мм и составляет 51,15 %, бурого угля – в диапазоне крупности -2+0,25 мм в количестве 13,32 %. В основной своей массе материал представлен крупностью менее 0,25 мм с повышенным содержанием зольности в нем. В ходе проведения технологических испытаний получен угольный концентрат с зольностью 14,4 %. Данный продукт соответствует марке ДШ (длиннопламенный штыб). Железосодержащий концентрат с массовой долей железа 64,7 % является пригодным для применения в металлургической промышленности или может быть использован в тяжелосредней сепарации для обогащения угля. Проведенное исследование иллюстрирует возможность получения качественного вторичного сырья без дополнительных затрат на добычу по экологически чистой технологии.

**Ключевые слова:** обогащение шламового гидроотвала, винтовая сепарация, экологически чистая технология, угольные шламы, минералогия угольных шламов, получение вторичного сырья, угольная промышленность

**Финансирование:** 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.

**Для цитирования:** 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. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-4-436-445>.

## MINERAL PROCESSING

Original article

## Enrichment of sludge dump coal by spiral separation

Nina Yu. Turetskaya<sup>a</sup>, Tatiana A. Chikisheva<sup>b</sup><sup>a,b</sup>Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia<sup>a,b</sup>Research and Production Company Spirit, LLC, Irkutsk, Russia<sup>b</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, RussiaCorresponding author: Nina Yu. Turetskaya, [tny@spirit-irk.ru](mailto:tny@spirit-irk.ru)

© Турецкая Н. Ю., Чикишева Т. А., 2022



**Abstract.** The purpose of the presented research is to study the possibility of obtaining an additional coal product and iron-containing concentrate from the sludge of a coal hydraulic dump. The research involved the study of the material composition of the initial sludge and technological tests. Material composition was examined using chemical, granulometric and mineralogical analyzes, the technological tests were conducted according to the gravitational-magnetic enrichment scheme. A spiral separator was used as the main enrichment equipment. Finishing operation was performed by the method of wet magnetic separation. Having studied the material composition, we determined that the initial sludge of the hydraulic dump is represented by 44.7 % of black coal and 43.32 % of brown coal. The bulk of hard coal is distributed in the size range of  $-2+0.25$  mm and makes 51.15 %, brown coal is distributed in the size range of  $-2+0.25$  mm in the amount of 13.32 %. The material is predominantly represented by a particle size of less than 0.25 mm with a high ash content in it. A coal concentrate with the ash content of 14.4 % was obtained as a result of technological tests. This product corresponds to the brand LFF (long-flaming fine). An iron-containing concentrate with the iron mass fraction of 64.7 % can be used in the metallurgical industry or in heavy-medium separation for coal enrichment. The study illustrates the possibility of obtaining high-quality secondary raw materials without additional mining costs using environmentally friendly technology.

**Keywords:** enrichment of sludge dump coal, spiral separation, environmentally friendly technology, coal sludge, coal sludge mineralogy, recovery of secondary raw materials, coal industry

**Funding:** The study was performed in the frameworks of the integrated scientific and technical program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-15-2022-1192 "Processing of tailings of coal preparation plants to obtain commercial coal concentrate". The research was also supported by a comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the field of exploration and production of solid minerals, ensuring industrial safety, bio-remediation, creation of new products of coal raw material deep processing with a consistent reduction in the environmental load and risks to the population life" approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 1144-p of May 11, 2022.

**For citation:** Turetskaya N. Yu., Chikisheva T. A. Enrichment of sludge dump coal by spiral separation. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie* = *Earth sciences and subsoil use*. 2022;45(4):436-445. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-4-436-445>.

## Введение

На сегодняшний день весьма актуальным вопросом для угледобывающей промышленности является переработка гидроотвалов углеобогащительных фабрик [1–4], которые относятся к I группе техногенных месторождений углесодержащего сырья. Объемы гидроотвалов составляют сотни миллионов тонн<sup>1</sup>. Часть из них уже переполнена, и это влечет за собой необходимость создания новых отвалов, выведения земельных участков из хозяйственного оборота, а вместе с этим значительные финансовые затраты [5]. Также в процессе обогащения угля в гидроотвалы попадает материал, содержащий уголь, а это является технологической потерей для угледобывающих фабрик. В настоящее время потребность в получении дополнительной товарной продукции, а именно угольного концентрата с содержанием зольности не более 25 %, возросла [6]. Вовлечение в переработку шламов из гидроотвала поможет решить про-

блему ресурсосбережения, охраны недр, рационального использования недр и защиты окружающей среды<sup>2</sup> [7–9]. Существующие методы переработки шламов гидроотвалов основываются на флотационном обогащении<sup>3</sup> [10–14]. Данный метод является энергозатратным, требует повышенного потребления необходимых реагентов и при этом оказывает негативное влияние на окружающую среду. В связи с этим для уменьшения объемов гидроотвалов с целью продления их эксплуатационного срока и снижения экологической нагрузки на окружающую среду для получения дополнительного товарного продукта необходимы специальные технологии, заключающие в себе экологически чистые способы обогащения техногенного сырья [15–20].

## Материалы и методы исследования

Целью представленного исследования стало получение дополнительного угольного

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» от 22 декабря 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resursov\\_2020/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_2020/) (12.09.2022).

<sup>2</sup> Левкин Н. Д. Оценка геоэкологической ситуации и способы снижения деструкции окружающей среды в угледобывающих промышленных регионах: дис. ... д-ра. техн. наук: 25.00.36. Тула, 2011. 234 с.

<sup>3</sup> Новак В. И. Обоснование и разработка рациональной технологии флюкляционного разделения тонкодисперстных угольных шламов: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13. М., 2011. 158 с.



продукта и железосодержащего концентрата из шлама угольного гидроотвала. Лабораторные работы выполнялись на шламах гидроотвала одной из углеобогатительных фабрик Сибирского федерального округа Российской Федерации. Вещественный состав изучался при помощи гранулометрического, химического и минералогического анализов. Определение химического состава проводилось атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (Аналитический центр Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов), а также методом спектрофотометрии при помощи комплекса GENESYS 10 S Thermo Fisher Scientific (Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук). Определение зольности топлива выполнялось методом ускоренного озоления (Лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»»). Минеральный состав пробы шламов гидроотвала и количественная оценка содержаний каждого минерала в пробе определялись с помощью методов оптико-минералогического анализа с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа МИКРОМЕД МС-2-ZOOM. Прозрачные минералы легкой фракции и тонких классов исследовались в иммерсионных препаратах с применением поляризационного микроскопа МИН-8. Минеральный состав (породной части) класса крупности менее 0,04 мм определялся методами рентгенофазового анализа на аппарате ДРОН-3.0.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате изучения вещественного состава было установлено, что в химический состав исходных шламов угольного гидроотвала входят диоксид кремния с содержанием 26,01 %, железо общее – 2,38 %, оксид алюминия – 10,03 %, оксид титана – 0,19 %, оксид марганца – 1,55 %, оксид магния – 0,97 %, оксид натрия – 0,11 %, барий – 0,045 %. Содержания вредных примесей, таких как сера, мышьяк, фосфор, составляют 0,95, 0,0011 и 0,01 % соответственно.

Гранулометрический анализ был выполнен согласно общепринятым рекомендациям<sup>4</sup>, результаты данного анализа приведены в табл. 1. Установлено, что основная масса материала (61,1 %) представлена фракцией менее 0,25 мм. Зольность данной крупности составляет 63,03 %. Выход материала более 2 мм составил 9,4 %, зольность – 28,49 %. На материал от 2 до 0,25 мм приходится 29,5 %. Зольность составляет 23,91 %.

Поскольку в шламах практический интерес представляет не только уголь, но и железо, его распределение также было изучено, результаты представлены в табл. 2. Данные показали, что распределение железа по классам крупности неравномерно, в основной своей массе железо распределяется в материале менее 71 мкм. Массовая доля железа колеблется от 0,45 до 4,34 % при средневзвешенном содержании в исходных шламах 2,7 %.

При проведении минералогического анализа методом визуального просмотра материала более 2 мм установлено, что он представлен в основной массе каменным углем и обломками песчаников и алевролитов с мало-мощными прослоями угля. Бурый уголь в данном диапазоне крупности визуализируется в единичных зернах. Угли в крупных классах часто содержат включения и прослои терригенного материала.

Материал менее 2 мм представлен углями: на 44,7 % каменным углем и на 43,32 % бурым. Породообразующие минералы представлены кварцем, плагиоклазом, карбонатами и слюдами, в сумме составляющими 8,07 % от всей массы пробы. Также в пробе присутствуют магнетит (0,79 %), пирит (0,42 %) и халькопирит (0,21 %). Минеральный состав исследуемой пробы представлен в табл. 3.

Установлено, что основная масса каменного и бурого угля сосредоточена в материале пробы менее 2 мм. Распределение каменного угля находится в диапазоне крупности -2+0,25 мм и составляет 51,15 %. Распределение бурого угля – в диапазоне крупности -2+0,25 мм в количестве 13,32 %. На рис. 1–3 представлены микрофотографии материала легкой фракции по классам крупности.

<sup>4</sup> Митрофанов С. И., Барский Л. А., Самыгин В. Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. М.: Мир, 1974. 440 с.



**Таблица 1. Гранулометрическая характеристика исходных шламов угольного гидроотвала и определение зольности по классам крупности**

**Table 1. Granulometric characteristics of the initial coal sludge from the dump and determination of the ash content by size classes**

| Класс крупности, мм | Выход, % | Зольность сухого топлива, % | Распределение, % | Класс крупности, мм | Зольность сухого топлива, % |
|---------------------|----------|-----------------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|
| +15                 | 1,3      | 70                          | 1,88             | +2                  | 28,49                       |
| -15+10              | 0,8      | 49,1                        | 0,81             |                     |                             |
| -10+8               | 0,6      | 30,8                        | 0,38             |                     |                             |
| -8+7                | 0,2      | 31,1                        | 0,13             |                     |                             |
| -7+5                | 1        | 20,6                        | 0,43             |                     |                             |
| -5+4                | 0,6      | 16,9                        | 0,21             |                     |                             |
| -4+3,2              | 0,5      | 14,5                        | 0,15             |                     |                             |
| -3,2+2              | 4,4      | 17                          | 1,55             |                     |                             |
| -2+1                | 7,5      | 18,4                        | 2,86             | -2+0,25             | 23,91                       |
| -1+0,5              | 9,9      | 23,6                        | 4,84             |                     |                             |
| -0,5+0,25           | 12,1     | 27,6                        | 6,92             |                     |                             |
| -0,25+0,125         | 9,4      | 35,8                        | 6,98             | -0,25+0             | 63,03                       |
| -0,125+0,071        | 5,3      | 43,7                        | 4,8              |                     |                             |
| -0,071+0,04         | 16,1     | 62,2                        | 20,76            |                     |                             |
| -0,04+0             | 30,3     | 74,3                        | 47,29            |                     |                             |
| Итого               | 100      | 48,25                       | 100              | Итого               | 46,46                       |

**Таблица 2. Распределение железа по классам крупности**

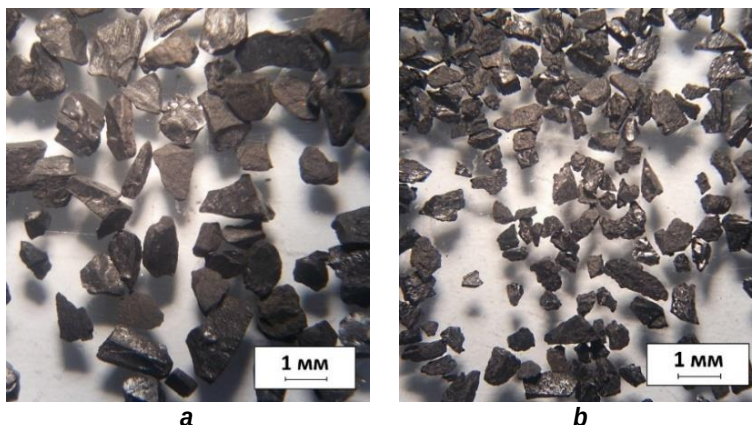
**Table 2. Iron distribution by size classes**

| Класс крупности, мм | Выход, % | Массовая доля железа, % | Распределение, % |
|---------------------|----------|-------------------------|------------------|
| -2+1                | 16,9     | 0,89                    | 6                |
| -1+0,5              | 9,9      | 0,45                    | 1,77             |
| -0,5+0,25           | 12,1     | 0,49                    | 2,37             |
| -0,25+0,125         | 9,4      | 1,86                    | 6,99             |
| -0,125+0,071        | 5,3      | 3                       | 6,36             |
| -0,071+0,04         | 16,1     | 4,34                    | 27,96            |
| -0,04+0             | 30,3     | 4,01                    | 48,55            |
| Итого исх.          | 100      | 2,7                     | 100              |

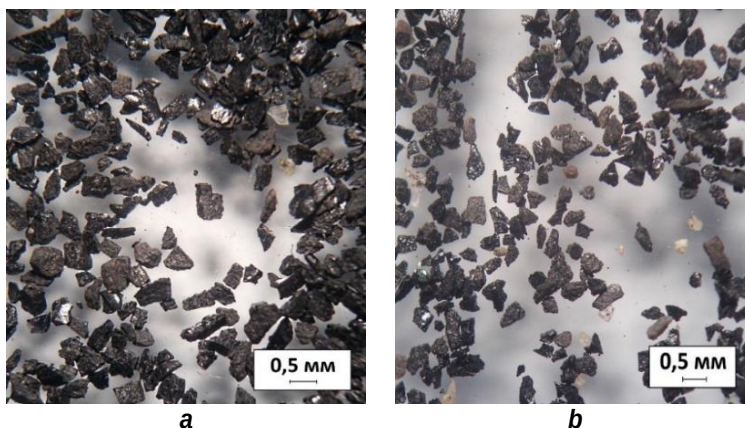
**Таблица 3. Минеральный состав исходной пробы**

**Table 3. Mineral composition of the initial sample**

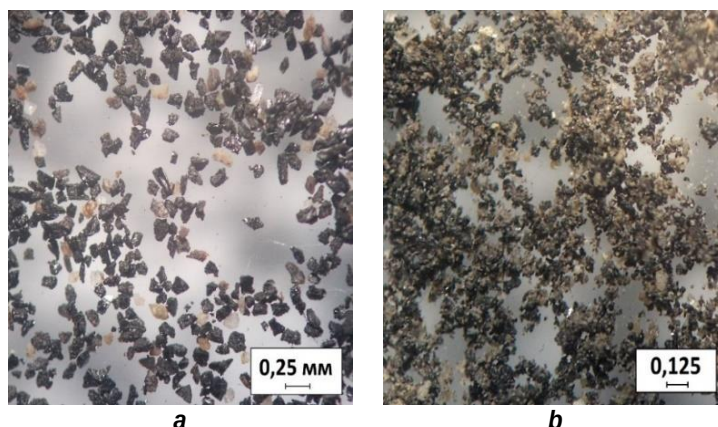
| Минерал                          | Содержание, %   |
|----------------------------------|-----------------|
| Магнетит                         | 0,79            |
| Пирит                            | 0,42            |
| Халькопирит                      | 0,21            |
| Уголь каменный                   | 44,7            |
| Уголь бурый                      | 43,32           |
| Кварц                            | 4,08            |
| Плагиоклаз                       | 2,95            |
| Карбонаты                        | 1,04            |
| Мусковит                         | Единичные зерна |
| Биотит                           |                 |
| Циркон                           |                 |
| Обломки песчаников и алевролитов |                 |
| Итого                            | 100             |



**Рис. 1. Материал легкой фракции класса крупности -2+1 мм (a) и -1+0,5 мм (b)**  
**Fig. 1. Light fraction material of the size classes of -2+1 mm (a) and -1+0.5 mm (b)**



**Рис. 2. Материал легкой фракции класса крупности -0,5+0,25 мм (a) и -0,25+0,125 мм (b)**  
**Fig. 2. Light fraction material by the size classes of -0.5+0.25 mm (a) and -0.25+0.125 mm (b)**



**Рис. 3. Материал легкой фракции класса крупности -0,125+0,071 мм (a) и -0,071+0 мм (b)**  
**Fig. 3. Light fraction material by the size classes of -0.125+0.071 mm (a) and -0.071+0 mm (b)**

Данные, полученные при изучении вещественного состава исходного шлама угольного гидроотвала, позволили определить основные положения технологии подготовки пробы к обогащению [11] и уточнить продуктивный класс крупности для дальнейших технологических исследований. Для шламов, предоставленных на исследования, продук-

тивной частью явилась крупность от 2 до 0,25 мм.

Пробоподготовка к технологическим испытаниям заключала в себе операции дезинтеграции и сгущения. В качестве основного обогащательного оборудования был выбран минеральный винтовой сепаратор. Минеральный винтовой сепаратор имеет профиль се-





чения желоба близкий к части эллипса и применяется для обогащения более крупного материала (до 2 мм). Он обладает наиболее высокой производительностью, способен выводить в концентрат зерна ценных минералов размером до 70 мкм. Доводочная операция на концентрате винтовой сепарации осуществлялась мокрой магнитной сепарацией. Схема обогащения шламов угольного гидроотвала представлена на рис. 4.

В результате технологического испытания были получены:

- угольный концентрат с выходом 25,5 %; зольность продукта составила 14,4 %;
- железосодержащий концентрат с массовой долей железа 64,72 %; выход продукта составил 0,7 %.

Полученный угольный концентрат (рис. 5, а) соответствует ТУ 12.36.225-91 «Угли ОАО «Востсибуголь» для сжигания на электростанциях», по которым обогащенные угли, получаемые на фабрике, должны иметь значение данного показателя не более 26,5 % и относиться к марке ДШ (длиннопламенный штыб).

Железосодержащий концентрат (рис. 5, б) является пригодным для применения в металлургической промышленности или может быть использован в тяжелосредней сепарации для обогащения угля.

В результате лабораторных исследований была подтверждена возможность получения угольного продукта и железосодержащего концентрата из шламов угольного гидроотвала, соответствующих всем требованиям.

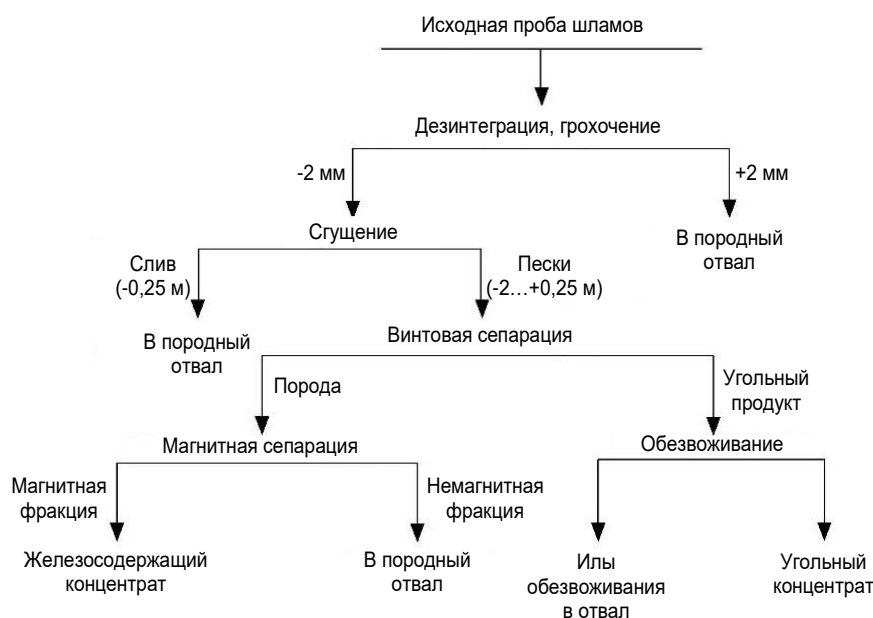


Рис. 4. Схема обогащения шламов угольного гидроотвала  
Fig. 4. Diagram of sludge dump coal enrichment



Рис. 5. Продукты обогащения шламов угольного гидроотвала:  
а – угольный продукт; б – железосодержащий концентрат  
Fig. 5. Products of sludge dump coal enrichment:  
а – coal product; б – iron-containing concentrate



### Заключение

Таким образом, настоящее исследование иллюстрирует возможность получения качественного вторичного топлива без дополнительных затрат на добычу по экологически чистой технологии при низких энергозатратах с применением в качестве основного обогащающего оборудования винтовых сепараторов. В работе подтверждается перспективность реализации проекта по вовлечению в переработку шламов угольных гидроотвалов. Переработка шламов позволит решить несколько актуальных вопросов, а именно воз-

можность получения качественного вторичного топлива с минимальными затратами на добычу по экологически чистой технологии при низких энергозатратах. Также вовлечение в переработку илов гидроотвала решает проблему ресурсосбережения, охраны недр, рационального использования сырья и защиты окружающей среды. Кроме того, получаемый попутно железосодержащий концентрат может быть возвращен в обратный процесс обогащения углей. Все это успешно решает вопрос комплексности использования гидроотвалов углеобогащающих фабрик.

### Список источников

1. Хамзина Т. Угольный шлам: вторая жизнь // Глобус. 2021. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (12.09.2022).
2. Шадрюнова И. В., Зелинская Е. В., Волкова Н. А., Орехова Н. Н. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала) // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017): материалы Международ. науч. конф. (г. Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.). Красноярск: Изд-во СФУ, 2017. С. 15–21.
3. Качурин Н. М., Ефимов В. И., Мосина Е. К., Факторович В. В. Перспективы экологически безопасного использования отходов производства на территориях горнодобывающих регионов // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 81–84.
4. Таразанов И. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год // Уголь. 2013. № 3. С. 78–90.
5. Качурин Н. М. Методические положения экологического мониторинга параметров окружающей среды при добыче полезных ископаемых // Проблемы безопасности и эффективности освоения георесурсов в современных условиях. Пермь: Изд-во Горного института УрО РАН, 2014. С. 128–133.
6. Гришин И. А., Князбаев Ж. С. К проблеме выбора метода обогащения для углей различной стадии метаморфизма // Успехи современного естествознания. 2016. № 1. С. 107–110.
7. Качурин Н. М., Воробьев С. А., Чистяков Я. В., Рыбак Л. Л. 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.
8. 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.
9. 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. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71>.
10. Новак В. И., Козлов В. А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. Отдельный выпуск № 5. Угледобыча: технологии, безопасность, переработка и обогащение. С. 130–138.
11. Козлов В. А., Новак В. И. Оптимизация работы углеобогащающей фабрики с целью получения максимального выхода концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 175–186. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-04-0-175-186>.
12. Сипотенко А. И., Коткин А. М., Перемежко Э. А. Совершенствование техники и технологии обработки шламов для сокращения их выпуска как отдельного товарного продукта. М.: ЦНИЭИ Уголь, 1991. 56 с.
13. Козлов В. А., Новак В. И. Применение колонной флотации в угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 4. С. 277–283.
14. Белоусов В. А. Основные направления интенсификации флотационного обогащения углей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-5. С. 719–721.
15. Козлов В. А., Козлов Е. В. Выбор наиболее рациональных методов оценки обогатимости углей для практического применения при проектировании обогащающих фабрик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 150–155.
16. Белоусов В. А. Перспективные методы обогащения угольных шламов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 15–17.
17. Гришин И. А., Князбаев Ж. С. К проблеме выбора метода обогащения для углей различной стадии



метаморфизма // Успехи современного естествознания. 2016. № 1. С. 107–110.

18. 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): материалы Междунар. науч. конф. (г. Владикавказ, 4–8 ноября 2021 г.). Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ), 2021. С. 498–501.

19. Прокопьев С. А., Пономарева А. М., Болотин М. Л. Переработка техногенного сырья углеобогати-

тельной фабрики // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2002): материалы Междунар. совещ. (г. Чита, 16–19 сентября 2002 г.). Чита: ПКЦ-Альтекс, 2002. С. 79–82.

20. Бобриков В. В., Калабухов М. Л., Канев Н. И. Исследования и совершенствование процессов классификации и обогащения угольного шлама на Печеровской ЦОФ // III Конгресс обогатителей стран СНГ (г. Москва, 19–22 марта 2001 г.). М.: Изд-во МИСиС, 2001. С. 69–75.

## References

1. Khamzina T. Second life of coal sludge. *Globus*. 2021;1. Available from: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> [Accessed 12<sup>th</sup> September 2022]. (In Russ.).

2. Shadrinova I. V., Zelinskaya E. V., Volkova N. A., Orekhova N. N. Mining waste: resource potential and processing technologies (on the example of Siberia and the Urals). In: *Sovremennye problemy kompleksnoi pererabotki trudnoobogatimyykh rud i tekhnogennogo syr'ya* (Plaksin'skie chteniya – 2017): materialy Mezhdunar. nauch. konf. = *Modern problems of complex processing of refractory ores and technogenic raw materials* (Plaksin'sky readings – 2017): materials of the International scientific conference. 12–15 September 2017, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2017, p. 15–21. (In Russ.).

3. Kachurin N. M., Efimov V. I., Mosina E. K., Faktorovich V. V. Prospects for production waste environmentally safe use in mining regions. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* = *Journal of Research and Production*. 2014;9:81-84. (In Russ.).

4. Tarazanov I. Russian coal industry performance in 2012. *Ugol* = *Russian Coal Journal*. 2013;3:78-90. (In Russ.).

5. Kachurin N. M. Methodological provisions of environmental parameters monitoring when mining. In: *Problemy bezopasnosti i effektivnosti osvoeniya georesursov v sovremennykh usloviyakh* = *Problems of safety and efficiency of georesources development in modern conditions*. Perm: Mining Institute UB RAS; 2014, p. 128–133. (In Russ.).

6. Grishin I. A., Knyazbaev Z. S. To the enrichment method choice problem for coals of various stage of the metamorphism. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;1:107-110. (In Russ.).

7. Kachurin N. M., Vorob'ev S. A., Chistyakov Ya. V., Rybak L. L. Environmental consequences of coal mines of Kuznetsk basin by the gasdynamic factor and hazard of endogenous fires at dumps. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = *Ecology and Industry of Russia*. 2015;19(4):54-58. (In Russ.).

8. Damba A., Stanis E. V. The use of an integrated geo-ecological assessment in environmental audit at the open coal mining in Mongolia. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* = *RUDN Journal of Ecology and Life*

*Safety*. 2015;2:100-106. (In Russ.).

9. Kireev S. A. The current state and environmental assessment of the impact of rock dumps of coal industry enterprises. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2022;1:62-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71>.

10. Novak V. I., Kozlov V. A. Review of modern enrichment methods of coal sludge. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* = *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2012;5:130-138. (In Russ.).

11. Kozlov V. A., Novak V. I. Optimizing coal preparation plant performance towards maximum concentrate yield. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* = *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2019;4:175-186. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-04-0-175-186>.

12. Sipotenko A. I., Kotkin A. M., Peremezhko E. A. Improving the technique and technology of sludge treatment to reduce their output as a separate commercial product. Moscow: TsNIEI Ugol'; 1991. 56 p. (In Russ.).

13. Kozlov V. A., Novak V. I. Application of flotation column in the coal industry. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* = *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2011;4:277-283. (In Russ.).

14. Belousov V. A. Main directions of coal flotation enrichment intensification. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014;11-5:719-721. (In Russ.).

15. Kozlov V. A., Kozlov E. V. Selection of the most rational evaluation methods of coal washability to be applied when designing concentration plants. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* = *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2012;4:150-155. (In Russ.).

16. Belousov V. A. Promising methods of coal sludge enrichment. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014;4:15-17. (In Russ.).

17. Grishin I. A., Knyazbaev Z. S. To the enrichment method choice problem for coals of various stage of the metamorphism. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* = *Advances in current natural sciences*. 2016;1:107-110. (In Russ.).

18. Sosnovskii S. A., Sachkov V. I. Complex processing





of technogenic coal-containing raw materials. In: *Problemy kompleksnoi i ekologicheskoi bezopasnoi pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2021): materialy Mezhdunar. nauch. konf. = Problems of complex and environmentally safe processing of natural and technogenic mineral raw materials (Plaksinsky readings – 2021): materials of the International scientific conference*. 4–8 November 2021, Vladikavkaz. Vladikavkaz: North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University); 2021, p. 498–501. (In Russ.).

19. Prokop'ev S. A., Ponomareva A. M., Bolotin M. L. Processing of technogenic raw materials of a coal washing plant. In: *Ekologicheskie problemy i novye tekhnologii kom-*

*pleksnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2002): materialy Mezhdunar. soveshch. = Environmental problems and new technologies for the complex processing of mineral raw materials (Plaksinsky readings – 2002): materials of the International meeting*. 16–19 September 2002, Chita. Chita: PKTs-Al'teks; 2002, p. 79–82. (In Russ.).

20. Bobrikov V. V., Kalabukhov M. L., Kanev N. I. Research and improvement of coal sludge classification and enrichment at the Pecherovskaya Central Preparation Plant. In: *III Kongress obo-gatitelei stran SNG = 3<sup>d</sup> CIS Congress of the Mineral Processing Engineers*. 19–22 March 2001, Moscow. Moscow: National University of Science and Technology (MISIS); 2001, p. 69–75. (In Russ.).

### Информация об авторах / Information about the authors



#### **Турецкая Нина Юрьевна,**

ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья,  
Институт земной коры СО РАН,  
г. Иркутск, Россия,  
руководитель группы обогащения черных металлов,  
ООО «Научно-производственная компания «Спирит»»,  
г. Иркутск, Россия,  
tny@spirit-irk.ru.

#### **Nina Yu. Turetskaya,**

Leading Engineer of the Department of Complex Use of Mineral Raw Materials,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Irkutsk, Russia,  
Head of the Ferrous Metal Benefication Group,  
Research and Production Company Spirit, LLC,  
Irkutsk, Russia,  
tny@spirit-irk.ru.



#### **Чикишева Татьяна Александровна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
младший научный сотрудник отдела  
комплексного использования минерального сырья,  
Институт земной коры СО РАН,  
г. Иркутск, Россия,  
заведующая минералогической лабораторией,  
ООО «Научно-производственная компания «Спирит»»,  
г. Иркутск, Россия,  
доцент кафедры полезных ископаемых,  
Иркутский государственный университет,  
г. Иркутск, Россия,  
cta@spirit-irk.ru.

#### **Tatiana A. Chikisheva,**

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),  
Junior Researcher of the Department of Complex Use of Mineral Raw Materials,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Irkutsk, Russia,  
Head of the Mineralogical Laboratory,  
Research and Production Company Spirit, LLC,  
Irkutsk, Russia,  
Associate Professor of the Department of Mineral Resources,  
Irkutsk State University,  
Irkutsk, Russia,  
cta@spirit-irk.ru.



### **Вклад авторов / Contribution of the authors**

Турецкая Н. Ю. – проведение вычислительных экспериментов, интерпретация полученных результатов; сбор, анализ и интерпретация результатов работы; общий надзор за исследовательской работой; подготовка рукописи к печати. Чикишева Т. А. – проведение вычислительных экспериментов, интерпретация полученных результатов; сбор, анализ и интерпретация результатов работы; общий надзор за исследовательской работой; выполнение минералогического анализа; подготовка рукописи к печати.

Turetskaya N. Yu. conducted computational experiments, processed the results, collected, analyzed and interpreted research results, performed general supervision of research work and prepared the copyright for publication. Chikisheva T. A. carried out computational experiments, processed the results, collected, analyzed and interpreted the research results, performed general supervision of research work, conducted mineralogical analysis and prepared the copyright for publication.

### **Конфликт интересов / Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*  
*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

### **Информация о статье / Information about the article**

Статья поступила в редакцию 15.09.2022; одобрена после рецензирования 19.10.2022; принята к публикации 24.11.2022.

The article was submitted 15.09.2022; approved after reviewing 19.10.2022; accepted for publication 24.11.2022.