

УДК 332.365 © С.А. Прокопьев<sup>1,2</sup>, О.Л. Алексеева<sup>1,2</sup>, Д.Ю. Савон<sup>3</sup>,  
А.Е. Сафронов<sup>4</sup>, Е.С. Прокопьев<sup>1,2</sup>, 2024

UDC 332.365 © S.A. Prokopyev<sup>1,2</sup>, O.L. Alekseeva<sup>1,2</sup>, D.Yu. Savon<sup>3</sup>,  
A.E. Safronov<sup>4</sup>, E.S. Prokopyev<sup>1,2</sup>, 2024

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт земной коры СО РАН, 664033, г. Иркутск, Россия

<sup>1</sup> Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

<sup>2</sup> ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup> LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation

<sup>3</sup> НИТУ МИСИС, 119048, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> National Research University of Science and Technology (MISIS),

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,  
344010, г. Ростов-на-Дону, Россия

Moscow, 119049, Russian Federation

<sup>4</sup> Don State Technical University,

✉ e-mail: di199@yandex.ru

Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation

✉ e-mail: di199@yandex.ru

# Использование безотходных технологий на углеобогатительных фабриках Кузбасса\*

## The use of waste-free technologies at Kuzbass coal processing plants

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-7-28-33>

### ПРОКОПЬЕВ С.А.

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

### АЛЕКСЕЕВА О.Л.

Ведущий инженер  
отдела комплексного использования  
минерального сырья  
Института земной коры СО РАН,  
директор по экономике и финансам  
ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: aol@spirit-irk.ru

В данной статье авторы поднимают вопрос о проблеме утилизации и переработки промышленных отходов, обусловленных как экологическими, так и ресурсосберегающими факторами, сложившимися в стране и мире в целом. Авторами дан анализ текущей ситуации в области отходов, связанных с добычей угля. Предлагается провести ряд мероприятий, которые позволят эффективно организовывать и осуществлять деятельность, направленную на изменение ситуации с помощью переработки, утилизации отходов обогатительных фабрик как одной из составляющих ресурсосбережения. Авторы разработали безотходную технологию переработки угольных шламов, лежалых хвостов углеобогатительных фабрик Кузбасса.

**Ключевые слова:** образование производственных отходов, переработка, утилизация, безотходные технологии, испытания, угольные шламы, лежалые хвосты.

**Для цитирования:** Использование безотходных технологий на углеобогатительных фабриках Кузбасса / С.А. Прокопьев, О.Л. Алексеева, Д.Ю. Савон и др. // Уголь. 2024;(7):28-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-28-33.

### Abstract

In this article, the authors raise the issue of the problem of recycling and utilization of industrial waste caused by both environmental and resource-saving factors prevailing in the country and the world as a whole. The authors analyze the current situation in the field of waste related to coal mining. It is proposed to carry out a number of measures that will effectively organize and carry out activities aimed at changing the situation through utilization, recycling of waste from processing plants as one of the components of resource conservation. The authors have developed a waste-free technology for processing coal sludge, stale tailings of Kuzbass coal processing plants.



\* 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».

**Keywords**

*Production waste generation, recycling, utilization, waste-free technologies, testing, coal sludge, stale tailings.*

**For citation**

Prokopyev S.A., Alekseeva O.L., Savon D.Yu., Safronov A.E., Prokopyev E.S. The use of waste-free technologies at Kuzbass coal processing plants. *Ugol'*. 2024;(7):28-33. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-28-33.

**Acknowledgements**

The work was founded by Integrated scientific and technical program of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 «Treatment of tailings of coal processing plants in order to obtain commercial coal concentrate».

**ВВЕДЕНИЕ**

Темпы роста образования производственных отходов опережают темпы роста объемов производства, причем в большей мере возрастают отходы по территории страны. По итогам 2022 г. Кузбасс со значительным отрывом обогнал другие российские регионы по количеству промышленных отходов. За год объем такого мусора составил более 4 млрд т. Второе место заняла Якутия – 720 млн т. На третьем месте оказался Красноярский край – 589 млн т. В целом по стране предприятия в 2022 г. произвели рекордные 9 млрд т отходов, что на 6,7% больше, чем в 2021 г. Как отмечают эксперты, к этому привело наращивание производства в отраслях энергетического сектора, металлургии и машиностроения, связанного с ОПК. Основная часть отходов связана с добычей угля. В 2022 г., невзирая на экономический спад, предприятия произвели еще на 6,7% больше отходов – 9,02 млрд т, что является рекордно высоким годовым значением за весь период доступной статистики с 2002 г. Среди отдельных отраслей безусловным лидером по производству отходов является добыча угля: в 2022 г. на эту сферу пришлось 63% всех промышленных отходов, или 5,7 млрд т [1, 2]. Несмотря на сокращение ВВП в 2022 г. в связи с санкциями, генерация производственных отходов увеличилась. Этому способствовал рост промышленного производства во многих отраслях энергетического сектора, металлургии и машиностроения, связанного с ОПК. Основную массу дополнительного прироста промышленных отходов, или 678,3 млн т, обеспечила добыча угля, традиционно наиболее «грязная» из всех отраслей. Больше всего промышленных отходов производят добывающие отрасли (см. таблицу). Из огромного количества минерального сырья, извлекаемого из-под земли, свыше 90% преобразуется в промышленные отходы.

За период с 2010 по 2020 г. объемы переработки угля увеличились в 1,7 раза: со 124 до 207 млн т. В 2021 г. объем переработки угля на обогатительных фабриках увеличился на 7,6 млн т (+3,7% к 2020 г.) – до 211,0 млн т.

В Кузбассе общая переработка на предприятиях угольной промышленности, с учетом собственно обогатительного производства и дробильно-сортировочных установок, составила 13,5 млн т в 2023 г., что на 2,5 млн т меньше по сравнению с 2022 г., а от добычи угля – 73,8%. На обогатительных фабриках Кузбасса в 2023 г. было переработано 10,4 млн т, что меньше на 0,7 млн т, или на 6,3% по сравнению с 2022 г. Получено угольного концентрата 6,4 млн т, что меньше на 0,8 млн т, или на 11,1% в сравнении с 2022 г. [4, 5, 6]. Качество угля является решающим фактором в мировой конкуренции. Требования потребителей растут – топливо без посторонних примесей, с меньшим содержанием золы, серы и фосфора. Немаловажным фактором, из-за которого сильно растет спрос на обогащенный уголь, является экология. При сжигании обогащенного угля, например в ТЭЦ, выбросы в атмосферу на 12% ниже, чем от топлива напрямую из забоя. Поэтому Китай, Индия, Бангладеш, Малайзия, Вьетнам и Южная Корея заинтересованы в кузбасском переработанном топливе. Растет его востребованность среди потребителей в большинстве стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Наибольший тоннаж составляют отходы, возникшие непосредственно в результате проведения вскрышных работ (по выемке и удалению горных пород) – 7,2 млрд т, или 83% от всех отходов, связанных с добычей полезных ископаемых. Обычно

**САВОН Д.Ю.**

*Доктор экон. наук,  
профессор кафедры  
«Экономика» НИТУ МИСИС,  
119048, г. Москва, Россия,  
e-mail: di199@yandex.ru*

**САФРОНОВ А.Е.**

*Доктор экон. наук,  
профессор кафедры  
«Менеджмент  
и бизнес-технологии»  
ФГБОУ ВО «Донской  
государственный  
технический университет»,  
344010, г. Ростов-на-Дону, Россия,  
e-mail: reception@dstu.edu.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*

**Образование отходов производства и потребления,  
их утилизация и обезвреживание в РФ, тыс. т [3]**

Generation of production and consumption waste, its reclamation and neutralization  
in the Russian Federation, thousand tons [3]

Показатели	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Образование отходов производства и потребления:			
– добыча угля	3911299,0	5002761,0	5681069,0
– производство кокса и нефтепродуктов	928,6	917,3	893,9
Утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления:			
– добыча угля	1878690,4	2291625,3	2659465,3
– производство кокса и нефтепродуктов	321,2	295,8	623,7

отходы вскрышных пород удаляются во внешние или внутренние отвалы. В случае если среди них попадаются полезные компоненты, они направляются на утилизацию, то есть переработку с целью повторного применения.

Для значительной части промышленных отходов методы утилизации и обезвреживания отсутствуют или оказываются дорогостоящими. Основные виды не утилизируемых опасных отходов промышленности продолжительное время накапливались на территории предприятий, их количество давно превысило предельно допустимое. В целом по стране количество не утилизируемых отходов оценивается приблизительно в 82 млрд т. При этом, если в Европе более 50% отходов перерабатывается, то в России средний уровень вторичного использования промышленных отходов составляет 35%, а твердых бытовых – не более 4%. На ряде предприятий способы, места и сроки хранения опасных отходов не соответствуют требованиям природоохранного законодательства. Одним из важнейших направлений ресурсосберегающей деятельности является эффективное использование отходов производства. Следует отметить, что сегодняшние технологии обезвреживания отходов и экономическая ситуация в России не позволят полностью отказаться от полигонного захоронения, как это намечено в странах ЕС (полный отказ от полигонного захоронения в 2010 г. в некоторых странах), тем не менее концепция России по обращению с отходами должна быть ориентирована на развитие и внедрение перерабатывающих технологий. Поэтому безотходное производство и рециклинг позволяют без существенного увеличения антропогенной нагрузки на природные системы расширить потребление материальных и энергетических ресурсов [7, 8, 9].

**ВЫБОР КОМПЛЕКСА МЕР  
ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ  
ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**

Для выбора оптимального научного решения проблемы утилизации отходов необходимо иметь сведения о характеристике объекта, определении отхода как сырьевого ресурса (состав, наличие); предполагаемые направления использования; технические решения по принятому варианту; народнохозяйственный эффект в сферах производства и потребления.

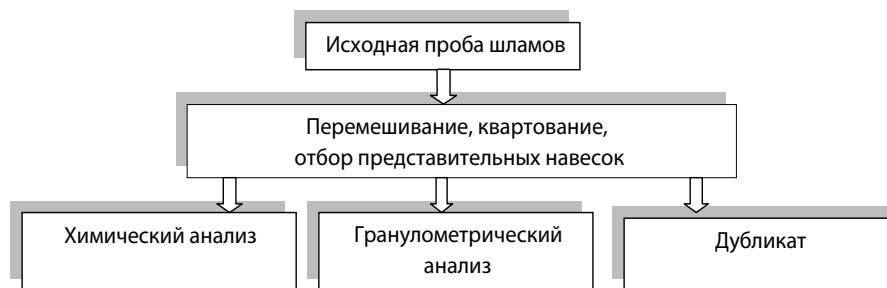


Схема пробоподготовки анализируемых проб  
Specimen preparation for the tested samples

Разработка безотходной технологии переработки угольных шламов, лежалых хвостов углеобогажительных фабрик необходимо начинать с изучения вещественного состава исходных проб лежалых хвостов углеобогажительных фабрик. Вещественный состав – совокупность данных о содержании полезных компонентов и примесей, минеральных формах проявления и характера срастания зерен важнейших элементов, их кристаллохимических и физических свойствах и гранулометрическом составе. Изучение вещественного состава позволяет выбрать наиболее рациональные методы обогащения, металлургической плавки и химической переработки. Для изучения вещественного состава были отобраны три пробы из лежалых хвостов углеобогажительных фабрик Сибирского федерального округа. Путем тщательного перемешивания и сокращения, в соответствии с методиками по схеме, представленной на рисунке, была выполнена пробоподготовка каждой из анализируемых проб.

Поскольку угольные отвалы можно рассматривать не только в качестве топливного ресурса, но и источника ряда элементов, таких как Ge, Ga, U, V, Se, PЗМ, элементов платиновой группы, на исходных пробах был выполнен химический анализ рентгенофлуорисцентным методом с целью оценки химического состава и присутствия в них элементов, представляющих какой-либо практический интерес. Результаты исследования показали, что основным химическим элементом в составе исследуемых проб является железо. Массовая доля железа в них варьирует от 0,98 до 2,87%. Также отмечено повышенное содержание марганца. Содержание кальция, магния и серы в пробах не превышает одного процента. Присутствующие в составе редкоземельные элементы, такие как натрий и скандий, находятся на пределе чувствительности и интереса для попутного извлечения не представляют. Массовые доли

остальных химических элементов составляют первые сотые, тысячные доли процента или находятся на пределе чувствительности. Определены показателя зольности ( $A^d$ ) с целью сравнительной оценки композитных проб лежащих хвостов углеобогатительных фабрик.

Гранулометрический анализ исходных проб выполнен посредством фракционирования, в соответствии с общепринятыми рекомендациями [10, 11, 12]. Определяющее значение для характеристики исходных проб имеют данные показателя  $A^d$  по классам крупности. Анализируя полученные данные гранулометрического анализа и показателя  $A^d$ , можно заключить, что во всех анализируемых пробах материал менее 125 мкм отличается повышенным показателем  $A^d$ . Также во всех пробах в материале от 250 мкм до 2 мм наблюдается снижение показателя  $A^d$ . Материал более 2 мм в испытуемых пробах различен по показателю  $A^d$ . На основании проведения многоэлементного анализа атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) и полного силикатного анализа был установлен химический состав композитной пробы лежащих хвостов. В результате проведенных анализов стало известно, что в состав композитной пробы входят диоксид кремния с содержанием 26,01%, оксид железа – 4,1%, оксид алюминия – 10,03%, оксид титана – 0,19%, оксид марганца – 1,55%, оксид магния – 0,97%, оксид натрия – 0,11%, барий – 0,045%. Вредные примеси, такие как сера, мышьяк и фосфор, в испытуемой пробе содержатся в размере 0,95%, 0,0011%, 0,01%.

Минералогический анализ пробы проводился на классифицированном материале композитной пробы. Минеральный состав и количественная оценка содержаний каждого минерала в пробе были определены с помощью методов оптико-минералогического анализа с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа «Микромед МС – 2 ZOOM».

Прозрачные минералы легкой фракции и тонких классов были исследованы в иммерсионных препаратах с применением поляризационного микроскопа МИН-8. Определение минерального состава (породной части) класса крупности менее 0,04 мм проводилось методами рентгенофазового анализа на аппарате ДРОН-3.0. Последовательность операций по определению минерального состава пробы состояла в гравитационном фракционировании классифицированного материала исходной пробы в бромформе (удельный вес – 2,89 г/см<sup>3</sup>) и последующем определении минерального состава пробы. В результате гравитационного фракционирования было установлено, что основная масса пробы представлена минералами легкой фракции и составляет 98,94%. Основными минералами легкой фракции являются бурый и каменный угли. Минералы тяжелой фракции представлены магнетитом, пиритом, халькопиритом и цирконом, суммарно составляющие 1,06% от всей массы пробы. При проведении гравитационного фракционирования установлено, что уголь главным образом концентрируется в легкой фракции. На основании данных оптико-минералогического анализа подсчитано распределение угля по классам крупности. Основная масса каменного и бурого угля сосредоточена в материале пробы менее 2,0 мм. Распределение каменного угля нахо-

дится в диапазоне крупности -2,0 – +0,25 мм и составляет 51,15%. Распределение бурого угля в диапазоне крупности -2,0+0,25 мм составляет 13,32%. Технологическая оценка изучаемой пробы выполнена путем выявления по справочным данным основных технологических свойств минералов, слагающих пробу – плотности и удельной магнитной восприимчивости.

Подготовка исходного материала к процессу обогащения состояла в проведении следующих операций:

- классификация исходного материала на инерционном грохоте марки ГИ06;
- сгущение рабочего класса крупности с применением гидроциклона марки ГЦП-150.

Согласно данным, полученным в ходе изучения вещественного состава, наиболее контрастным физическим свойством для изучаемой пробы является свойство плотности.

Для переработки материала в качестве основного гравитационного метода была выбрана винтовая сепарация. Винтовые сепараторы (ВС) являются популярным гравитационным оборудованием в области обогащения угольных шламов. Исследования показали возможности применения данного типа аппарата к идентичному сырью. Закономерность и преимущества применения винтовых сепараторов базируются на низких эксплуатационных затратах при достаточно высокой эффективности разделения исходного угля на фракции различных плотностей, особенно при выделении высокозольных тяжелых фракций. В нем отсутствуют подвижные части, приемники электроэнергии, не используются реагенты и другие расходные материалы, а процесс разделения происходит при самотеке материала по криволинейной поверхности в результате действия основных сил – гравитационной и центробежной. Они стабильно работают на оборотной воде. Процесс обогащения на ВС наблюдается визуально и поэтому легко поддается регулированию. Нижний предел крупности питания винтовых сепараторов для угля находится в диапазоне 0,1-0,15 мм.

Подготовленный к обогащению материал (по крупности, производительности и плотности пульпы) подается на желоб ВС. При прохождении пульпы по винтовому желобу происходит распределение материала по поверхности желоба: тяжелые минералы сосредоточиваются у внутреннего борта, сростки двигаются в средней части желоба, а легкие – у внешнего борта. Испытания ВС на исследуемой пробе были проведены на трех типах аппаратов марки СВШ; СВМ и LD-7. Опыты проведены по одной технологической схеме. Анализ полученных показателей свидетельствует о достаточно высокой технологической эффективности сепарации зернистой части мелких классов углей. Исследование показывает, что на всех трех типах аппарата возможно получить угольный продукт. На винтовом аппарате марки СВШ выход угольного продукта равен 30,44% с показателем  $A^d$ , равным 26,15%. На СВМ удалось получить угольный продукт с показателем  $A^d$  22,35%, выход составляет 29,53%. Угольный продукт, полученного на винтовом сепараторе марки LD-7, имеет показатель  $A^d$ , равный 23,18%, с выходом, равным 28,48%. В сравнении трех представленных опытов наилучшие показатели угольного продукта продемонстрированы на аппарата СВМ. Для обогащения угольных шламов

рекомендуется применение ВС марки СВМ со следующими режимными параметрами: производительность – 2,6 т/ч, плотность пульпы (% твердого в питании) – 25-30%, расход смывной воды – 0,08 м<sup>3</sup>×ч [13, 14, 15].

На угольном продукте ВС необходимо предусмотреть операцию обезвоживания/фильтрации для улучшения качества показателей. Поскольку данное сырье представляет интерес не только для получения дополнительного вторичного топлива – угольного продукта, но и для получения железного концентрата, дальнейшие исследования были направлены на достижение поставленной задачи. На породном продукте винтовой сепарации были проведены опыты с применением мокрой магнитной сепарации (ММС). Испытания проводились на магнитном сепараторе марки МБС-Л 250×100/Т3759. Анализ магнитной фракции (МФ) выполнен при помощи портативного рентгенофлуоресцентного анализатора Olympus Vanta C-Series. На основании полученных данных можно сделать следующий вывод, что при повышении магнитной индукции качество (МФ) снижается, поскольку происходит захват магнетита вместе с пустой породой. Испытания ММС на породной части показали удовлетворительные результаты, была показана возможность получения дополнительного товарного продукта (железного концентрата) из породной части лежалых хвостов. При проведении фильтрации угольного концентрата и хвостов обогащения в лабораторных условиях для угольного концентрата крупностью от 2 до 125 мкм, где 75% класса от 25 мм до 125 мкм, и при плотности пульпы 40% твердого при продолжительности цикла 3,5 мин (продолжительность одного оборота барабана), давлении 0,8 МПа была получена производительность фильтрации на уровне 9,7 т/м<sup>2</sup>×сут. Ожидаемая производительность фильтрации промышленного барабанного фильтра с учетом понижающего коэффициента (1,5-2,0) составит 4,85-6,47 т/м<sup>2</sup>×сут.

### ВЫВОДЫ ИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В результате изучения вещественного состава исходных композитных проб лежалых хвостов углеобогащательных фабрик установлено:

- основным химическим элементом в составе исследуемых проб является железо. Массовая доля железа в III пробе составляет 2,98%, во II пробе – 1,98%, в I пробе – 1,57%;
- отмечено повышенное содержание марганца в III пробе (массовая доля – 1,20%). В остальных анализируемых пробах содержание данного химического элемента составляет сотые доли процента (в I пробе массовая доля марганца – 0,057% во II пробе – 0,01%). Содержание кальция, магния и серы в пробах не превышает одного процента. Присутствующие в составе редкоземельные элементы, такие как натрий и скандий, находятся на пределе чувствительности и интереса для попутного извлечения не представляют. Массовая доля остальных химических элементов составляет первые сотые, тысячные доли процента или находятся на пределе чувствительности;
- показатель  $A^d$  I исходной пробы равен 53,31%, II пробы – 49,98% и III пробы – 47,50%;
- гранулометрическим анализом установлено, что в I пробе граничное зерно – 13 мм, в двух оставшихся за-

фиксировано наличие материала более 13 мм. Крупность менее 125 мкм во всех анализируемых пробах имеет повышенный показатель  $A^d$ , который варьируется от 65 до 71%. Выход данной крупности в I пробе составил 65,90% ( $A^d$  – 65,36%), во II пробе – 43,54% ( $A^d$  – 70,89%), в III пробе – 51,7% ( $A^d$  – 67,39%). Также во всех пробах в материале от 250 мкм до 2 мм наблюдается снижение показателя  $A^d$  (в I пробе  $A^d$  – 21,33%, выход – 20,5%; во II пробе  $A^d$  – 31,18%, выход – 32,98%; в III пробе  $A^d$  – 23,91%, выход – 29,5%). Материал более 2 мм в испытываемых пробах II и III по показателю  $A^d$  схожий (во II пробе  $A^d$  – 33,86%, выход – 11,46%; в III пробе  $A^d$  – 33,90%, выход – 9,4%). Во II пробе показатель  $A^d$  равен 50,21% с выходом всего 5,9%.

Анализируя данные о вещественном составе исходных проб лежалых хвостов, можно заключить, что представленные пробы по своему химическому и гранулометрическому составу принципиального различия не имеют и могут быть объединены в одну композитную пробу лежалых хвостов для проведения дальнейших технологических испытаний.

В результате проведения химического анализа на композитной пробе установлено:

- в состав пробы входят диоксид кремния с содержанием 26,01%, оксид железа – 4,1%, оксид алюминия – 10,03%, оксид титана – 0,19%, оксид марганца – 1,55%, оксид магния – 0,97%, оксид натрия – 0,11%, барий – 0,045%. Вредные примеси таких как сера, мышьяк и фосфор, в испытываемой пробе содержатся в размере 0,95%, 0,0011%, 0,01%. Содержание редкоземельных элементов (иттрий, лантан, скандий) находится на пределе чувствительности и интереса для попутного извлечения не представляет;
- выход материала более 2 мм в пробе составляет 10,76%. На крупность менее 125 мкм приходится 54,40%;
- основную массу материала составляют угли – бурый и каменный. Выход тяжелой фракции составил 1,06%, выход легкой – 98,94%. Основными минералами легкой фракции являются каменный и бурый угли. Тяжелая фракция состоит из магнетита, пирита, халькопирита и циркона. Распределение каменного угля находится в диапазоне крупности -2,0 – +0,25 мм и составляет 51,15%. Распределение бурого угля в диапазоне крупности -2,0 – +0,25 мм составляет 13,32%. Наиболее контрастным физическим свойством для изучаемой пробы является свойство плотности.

В результате проведения технологических испытаний была разработана гравитационно-магнитная схема обогащения угольных шламов. По разработанной технологии установлена возможность получения: качественного вторичного топлива с показателем зольности ( $A^d$ ) менее 20%, железосодержащего концентрата с массовой долей железа не менее 62%, является пригодным для применения в металлургической промышленности или может быть использован в тяжелосредней сепарации для обогащения угля. Хвосты гравитационно-магнитного обогащения удовлетворяют ГОСТ 8736-2014 и могут быть использованы как песок для строительных работ.

### Список литературы • References

1. Ведомости. Экология. URL: <https://www.vedomosti.ru/ecology/esg/articles/2023/11/01/1003645-v-2022-g-predpriyatiya-v-rossii-proizveli-rekordnie-9-mlrd-t> (дата обращения: 15.06.2024).

2. Большое обогащение: как в Кузбассе улучшают уголь. Сибдепо. Журнал о жизни в Кузбассе. URL: <https://sibdepo.ru/reading/bolshoe-obogashhenie-kak-v-kuzbasse-uluchshayut-ugol.htm> (дата обращения: 15.06.2024). Major upgrade: how coal is improved in Kuzbass. *Sibdepo. A magazine about life in Kuzbass*. Available at: <https://sibdepo.ru/reading/bolshoe-obogashhenie-kak-v-kuzbasse-uluchshayut-ugol.html> (accessed 15.06.2024).
3. Охрана окружающей среды в России. 2022. Статистический сборник. М.: Росстат, 2023. 115 с.
4. Малышев Ю., Ковальчук А., Рожков А. Угольная отрасль: поиск ориентиров в эпоху перемен // Энергетическая политика. 2021. № 2. С. 18-29. DOI: 10.46920/2409-5516-2021-2156-18. Malyshev Yu., Kovalchuk A., Rozhkov A. Coal industry: search for reference points in the times of change. *Energeticheskaya politika*, 2021;(2):18-29. (In Russ.). DOI: 10.46920/2409-5516-2021-2156-18.
5. 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. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71. 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):62-71. (In Russ.). DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71.
6. Влияние кризиса на финансовый результат деятельности угольной отрасли / Д.Ю. Савон, А.Е. Сафронов, Н.О. Вихрова и др. // Уголь. 2022. № 11. С. 62-68. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-62-68. Savon D.Yu., Safronov A.E., Vikhrova N.O., Kruzhkova G.V., Goncharov M.S. Impact of the crisis on the financial performance of the coal industry. *Ugol'*. 2022;(11):62-68. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-62-68.
7. Чернова О.А. Стрессовые факторы устойчивого развития угольной промышленности России // Journal of Applied Economic Research. 2022. № 1. С. 49-78. DOI: 10.15826/vestnik.2022.21.1.003. Chernova O.A. Stress factors of sustainable development of the Russian coal industry. *Journal of Applied Economic Research*. 2022;(1):49-78. (In Russ.). DOI: 10.15826/vestnik.2022.21.1.003.
8. Самарина В.П., Скуфьина Т.П., Савон Д.Ю. Комплексная оценка устойчивого развития горно-металлургических холдингов: проблемы и механизмы их разрешения // Уголь. 2021. № 7. С. 20-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-20-24. Samarina V.P., Skufina T.P., Savon D.Yu. Comprehensive assessment of sustainable development of mining and metallurgical holdings: problems and mechanisms of their resolution. *Ugol'*. 2021;(7):20-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-20-24.
9. Угольная промышленность районов Крайнего Севера: специфические особенности, текущее положение и концепция развития / М.С. Гончаров, Д.Ю. Савон, А.Е. Сафронов и др. // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2023. № 1. С. 95-107. DOI: <https://doi.org/10.37614/2220-802X.1.2023.79.006>. Goncharov M.S., Savon D.Yu., Safronov A.E., Ryadnov V.I. The coal industry in the Far North: distinctive features, current status and a development concept. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriyadka*. 2023;(1):95-107. (In Russ.). DOI: 10.37614/2220-802X.1.2023.79.006.
10. Усолтцева И.О., Передерин Ю.В., Крайденко Р.И. Обогащение углей: современное состояние технологий // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 131-137. Usoltseva I.O., Perederin Yu.V., Kraydenko R.I. Coal enrichment: current technological state. *Polzunovskij vestnik*. 2017;(3):131-137. (In Russ.).
11. Campbell B. Corporate influence and the global pandemic – reflections from the mining sector. *Revista Brasileira de Política Internacional [online]*. 2022;65(1). DOI: 10.1590/0034-7329202200101.
12. Хамзина Т. Угольный шлам: вторая жизнь // Глобус. 2021. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (дата обращения: 15.06.2024). Khamzina T. Coal sludge: a second life. *Globus*. 2021;(1). [Electronic resource]. Available at: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (accessed 15.06.2024).
13. Процесс развития технологий обогащения угля в России и за рубежом / С.А. Прокопьев, О.Л. Алексеева, Д.Ю. Савон и др. // Уголь. 2023. № 11. С. 96-101. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-96-101. Prokopyev S.A., Alekseeva O.L., Savon D.Yu., Kostyukhin Yu.Yu., Prokopyev E.S. The process of developing coal enrichment technologies in Russia and abroad. *Ugol'*. 2023;(11):96-101. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-96-101.
14. Прокопьев С.А. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. № 45(4). С. 458-468. DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-4-458-468. Prokopyev S.A. Overview of coal sludge gravity concentration technologies. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022;45(4):458-468. (In Russ.). DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-4-458-468.
15. Белоусов В.А. Перспективные методы обогащения угольных шламов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 15-17. Belousov V.A. Promising methods of coal sludge processing. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*, 2014;(4):15-17. (In Russ.).

#### Authors Information

**Prokopyev S.A.** – PhD (Engineering), Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, General Director, LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: [psa@spirit-irk.ru](mailto:psa@spirit-irk.ru)

**Alekseeva O.L.** – Leading engineer of the Department for Integrated Use of Mineral Raw Materials, Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Director of Economics and Finance, LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: [aol@spirit-irk.ru](mailto:aol@spirit-irk.ru)

**Savon D.Yu.** – Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Economy, National Research University of Science and Technology (MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: [di199@yandex.ru](mailto:di199@yandex.ru)

**Safronov A.E.** – Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Management and Business Technologies, Don State Technical University, Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation, e-mail: [reception@dstu.edu.ru](mailto:reception@dstu.edu.ru)

**Prokopyev E.S.**, Junior researcher of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Director for Technology and Innovation, LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: [pes@spirit-irk.ru](mailto:pes@spirit-irk.ru)

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.02.2024

Поступила после рецензирования: 16.06.2024

Принята к публикации: 25.06.2024

#### Paper info

Received February 15, 2024

Reviewed June 16, 2024

Accepted June 25, 2024