

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ: ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-МАГНИТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ

Прокопьев Е. С.^{1,2}, Турецкая Н. Ю.,^{1,2} Чикишева Т. А.,^{1,2,3} Прокопьев С. А.^{1,2}

¹ *Институт земной коры СО РАН, Иркутск*

² *ООО НПК «Спирит», Иркутск*

³ *Иркутский государственный университет, Иркутск*

Введение

Угольная отрасль занимает неотъемлемую часть в энергетике страны. Кемеровская область по-прежнему считается основным угледобывающим регионом [2, 3]. На её территории работает большое количество углеобогащительных фабрик во время работы которых в породные, вскрышные, гидроотвалы помимо горючих веществ, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья, попадают минералы, которые несут в себе так же промышленный интерес. Поэтому при выборе технологии обогащения угольных шламов необходимо учитывать минеральный состав угля, поскольку неорганические соединения попадают в породу разными путями, например, обломки породы, которые привносятся в сформировавшиеся пласты угля грунтовыми водами (глина, песок, валуны, галька, полевой шпат, биотит, мусковит, апатит, хлорит, магнетит, рутил и другие) или минеральные элементы попадают в породу на стадии ее формирования. Для создания технологии переработки необходимо тщательное изучение их вещественного состава, особенностей строения минеральных агрегатов и выявление форм нахождения потенциально опасных элементов [1, 4]. Полученная информация поможет выявить элементы представляющие промышленный интерес и определится в альтернативной технологии их обогащения. Цель данной работы заключалась в выборе технологии обогащения исходных угольных шламов на основании полученных данных о вещественном составе.

Материалы и методы

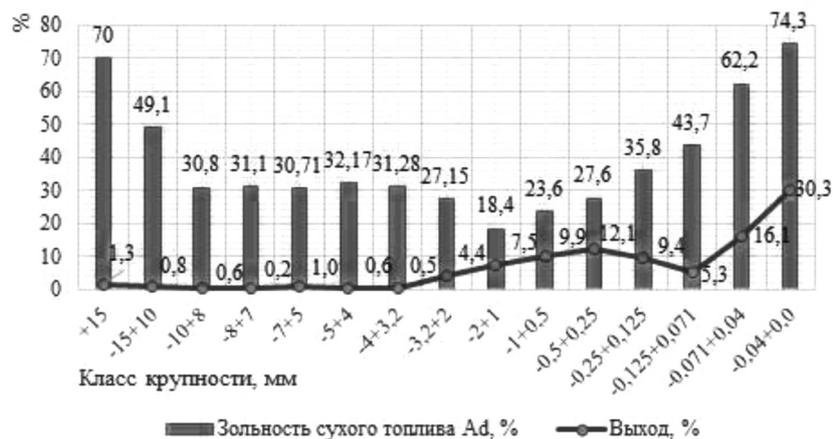
Объектом исследований стала технологическая проба, отобранная из отходов углеобогащения. Химический анализ исходной пробы выполнен при помощи атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) и полного силикатного анализа. Определение зольности

сухого топлива исходной материала и продуктов обогащения выполнено методом ускоренного озоления. Оптико-минералогический анализ исходного сырья выполнялся по методическим рекомендациям НСОММИ, с использованием стереомикроскопа Микромед МС-2-ZOOM 2CR.

Результаты и обсуждение

На первом этапе работ был установлен, что в состав исходного сырья входят SiO_2 с содержанием 26.01%, $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ – 2.38%, Al_2O_3 – 10.03%, TiO – 0.19%, MnO – 1.55%, MgO – 0.97%, Na_2O – 0.11%, Ba – 0.045%. Содержание вредных примесей S – 0.95%, As – 0.0011%, P – 0.01%. Из установленных химических элементов промышленный интерес может представлять из себя железо если оно представлено рудным сырьём, а не входит в химический состав породообразующих минералов. В пробе также были обнаружены следы редкоземельных элементов (Y, La, Sc), но интереса в попутном извлечении они не представляют, поскольку их содержание находится на пределе чувствительности.

Второй этап работ заключался в определении гранулометрического состава испытуемого сырья с определением показателей зольности сухого топлива в каждом классе крупности (рис.). Установлено, что материал на 61.1% представлен углисто-илистой фракцией менее 0.125 мм с показателем зольности сухого топлива равного 63.03%. Зольность крупнокускового материала более 7 мм равна 53.44% с выходом 2.9%. В крупности от 7 до 2 мм зольность равна 28.48%, выход материала в данный диапазон составляет 6.5%. Показатель зольности сухого топлива в крупности от 2 до 0.25 мм составляет 23.91%. Выход материала в данном диапазоне 29.5%. Представленную крупность от 2 до 0.25 мм можно рассматривать в качестве исходного питания для технологических испытаний.



Гранулометрический анализ исходного сырья с показателями сухого топлива по классам крупности

Третий этап работ заключался в определении минерального состава исходного сырья. Последовательность операций по определению минерального состава состояла в гравитационном фракционировании классифицированного материала исходной пробы в бромформе (удельный вес 2.89 г/см³) и последующем определении минерального состава пробы. Классы крупности более 2.0 мм изучены без применения гравитационного фракционирования.

При проведении визуального просмотра материала более 2 мм установлено, что он представлен в основной массе каменным углем и обломками песчаников и алевролитов с маломощными прослоями угля. Угли в крупных классах часто содержат включения и прослойки терригенного материала, о чём свидетельствуют данные показателей зольности, представленные на рисунке 1. Материал менее 2 мм в основной массе представлен углями – 88.02%. 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 таблице 1.

При проведении гравитационного фракционирования установлено, что уголь главным образом концентрируется в легкой фракции. На основании данных оптико-минералогического анализа было подсчитано распределение угля по классам крупности (табл. 2). Установлено, что основная масса угля сосредоточена в материале пробы менее 2 мм, а именно в диапазоне крупности от 0.25 до 2 мм.

Таблица 1

Минеральный состав исходного сырья

Минерал	Содержание, %
Магнетит	0.79
Пирит	0.42
Халькопирит	0.21
Уголь	88.02
Кварц	4.08
Плагиоклаз	2.95
Карбонаты	1.04
Мусковит	Единичные зёрна
Биотит	0.12
Циркон	0.04
Обломки песчаников и алевролитов	2.33
Итого:	100

Полученные данные приводят к выводу, что присутствие такого большого количества высокозольного углисто-илистого шлама повлияет на вязкость пульпы и сегрегационные способности более крупных зерен. В материале более 2 мм обнаружены несгораемые фазы, представленные неорганическим веществом. Поэтому из технологического процесса рекомендуется вывести углисто-илистый материал крупностью менее 0.125 мм и более 2 мм. Поскольку плотность угля по сравнению с породобразующими и рудными минералами значительно ниже, то традиционной технологией получения угольного концентрата будет являться гравитационное обогащение. Что касается присутствия магнетита, данный минерал является ферромагнетиком и его дальнейшее отделение от породобразующих минералов и минералов парамагнетиков может быть осуществлено методом магнитной сепарации.

Таблица 2

Распределение угля по классам крупности

Класс крупности, мм	Содержание в классе, %	Распределение, %
+15	0.33	0.37
-15+10	0.65	0.74
-10+8	0.48	0.55
-8+7	0.19	0.22
-7+5	1.00	1.14
-5+4	0.58	0.66
-4+3.2	0.49	0.56
-3.2+2	4.36	4.95
-2+1	7.45	8.46
-1+0.5	9.80	11.13
-0.5+0.25	11.36	12.91
-0.25+0.125	8.47	9.62
-0.125+0.071	4.52	5.13
-0.071+0.040	13.01	14.78
-0.040+0.0	25.33	28.78
Итого:	88.02	100

Данные, полученные при изучении вещественного состава исходного шлама позволили определить основные положения технологии подготовки пробы к обогащению, уточнить продуктивный класс крупности, определится в выборе метода обогащения сырья.

Четвертый этап работ заключался в проведении технологических испытаний. На материале угольного шлама была выполнена операция грохочения, при помощи которой происходит разделение несгораемой фазы сырья (надрешётный продукт), представленной неорганическими веществами от углесодержащего материала (подрешётный продукт). Далее на подрешётном продукте выполнена операция сгущения при помощи гидроциклона, где происходит разделение рабочего класса крупности (пески гидроциклона) от высокозольного углесто-илистого материала (слив гидроциклона). Дальнейшее обогащение рабочего класса (песков гидроциклона) выполнялось при помощи винтовой сепарации, в ходе которого были получены угольный концентрат и породный продукт. Обогащение породного продукта продолжалось при помощи мокрой магнитной сепарации, в процессе которой магнитная фракция является железосодержащим концентратом, а не магнитная отвальными хвостами. В результате испытаний 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%.

Заключение

Таким образом, результаты исследования отходов углеобогатительной фабрики показывают потенциальную возможность их использования в качестве вторичного минерального сырья. Изучение вещественного состава угольных шламов способствует выбору эффективной технологии их обогащения. Разработана гравитационно-магнитная схема обогащения угольных шламов. Технологическими испытаниями обогатимости угольных шламов показана возможность получения двух товарных продуктов: угольного концентрата, пригодного для использования в энергетической промышленности и железосодержащего концентрата для металлургической промышленности или для применения в качестве утяжелителя в тяжелосредней сепарации на обогатительных фабриках.

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углеродсодержащих отходов шламохранилища западносибирского-металлургического комбината // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 446–457.

3. 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.

4. Михеева М.А., Жиличева А.Н., Штельмах С.И., Прокопьев Е.С., Чикишева Т.А. Ценные и потенциально опасные элементы в углях Иркутского бассейна и продуктах переработки угольных отвалов // Уголь. 2022. № 12. С. 127–131.