

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.84.26.005**

**УДК 622.7**

**© С. А. Прокопьев, 2025**

**С. А. ПРОКОПЬЕВ**

канд. техн. наук,

начальник отдела комплексного

использования минерального сырья

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

e-mail: sapr100@mail.ru

## **ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ РАЗРЕЗОВ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Для разработки технологии обогащения шламов необходима информация о фракционном и минеральном составе исследуемых проб. Результаты гравитационного фракционирования показали, что основная масса пробы Кедровского разреза представлена материалом лёгкой фракции, Бачатского и Краснобродского разрезов — материалом лёгкой и тяжёлой фракций, которые находятся приблизительно в равном количестве. Согласно полученным данным, для доизвлечения угля наиболее подходит лёгкая фракция отходов обогащения.*

**Ключевые слова:** ШЛАМЫ, ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ, МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ, УГОЛЬ, ОБОГАЩЕНИЕ.

Содержание углерода в отходах обогащения составляет примерно от 3 до 25–26% (по другим источникам 5–20%). Зольная часть состоит преимущественно из оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (>90%), и только отдельные месторождения углей и сланцев содержат повышенное количество оксида кальция. Зольность отходов обогатительных фабрик находится примерно в пределах от 70 до 88%, сернистость — от 1 до 4,5%. Сложность использования отходов обогащения не только в том, что они отличаются друг от друга по физико-химическим свойствам, но и тем, что они собираются в больших количествах в отвалах и трудно оттуда извлекаются [1–3].

Для разработки технологии обогащения шламов необходима информация о фракционном и минеральном составе исследуемых проб.

Объектами исследования являлись пробы угольных шламов Краснобродского, Бачатского и Кедровского угольных разрезов, Кемеровская область-Кузбасс, взятые из отвалов.

Фракционный анализ сырьевой базы определялся по ГОСТ 4790–93 (ISO7936:1992) «Топливо твердое. Определение и представление показателей фракционного состава. Общие требования к аппаратуре и методике». Минералогический анализ проводился с применением методики НСОММИ № 31 «Виды и последовательность минералогических исследований для обеспечения технологических работ» и минеральный состав проб продуктов обогащения с помощью методов оптико-минералогического анализа по методическим рекомендациям с применением бинокулярного стереомикроскопа Микромед MC-2-ZOOM. Минеральный состав фракций

Таблица 1

## Результаты гравитационного фракционирования

Проба Кедровский угольный разрез — КРУ-25					
Класс крупности, мм	Выход, %	Фракция, %			Итого:
		Лёгкая (<1,5 г/см <sup>3</sup> )	Промежуточная (1,5–2,0 г/см <sup>3</sup> )	Тяжёлая (>2,0 г/см <sup>3</sup> )	
+5	3,56	2,70	0,02	0,84	3,56
-5+2	7,65	7,23	0,01	0,41	7,65
-2+1	9,32	9,11	0,02	0,19	9,32
-1+0,5	10,22	9,93	0,02	0,27	10,22
-0,5+0,25	14,40	13,70	0,05	0,65	14,40
-0,25+0,2	4,70	4,27	0,02	0,41	4,70
-0,2+0,125	13,22	10,85	0,09	2,28	13,21
-0,125+0,071	10,46	7,31	0,03	3,12	10,46
-0,071+0,040	9,55	5,76	0,02	3,77	9,55
-0,040+0,00	16,92	12,73	0,10	4,09	16,92
Итого:	100,00	83,59	0,38	16,03	100,00
Проба Бачатский угольный разрез — ШБ-3-25					
+5	0,46	0,37	-	0,09	0,46
-5+2	2,31	1,60	0,01	0,70	2,31
-2+1	14,12	8,94	0,11	5,07	14,12
-1+0,5	27,11	18,00	0,21	8,90	27,11
-0,5+0,25	24,33	13,76	0,41	10,16	24,33
-0,25+0,2	5,95	2,51	0,14	3,30	5,95
-0,2+0,125	10,47	3,16	0,19	7,12	10,47
-0,125+0,071	7,85	1,55	0,10	6,20	7,85
-0,071+0,040	3,34	0,79	0,03	2,52	3,34
-0,040+0,00	4,06	1,24	0,16	2,66	4,06
Итого:	100,00	51,92	1,36	46,72	100,00
Проба Краснобродский угольный разрез — КШ-25					
+5	0,16	0,01	-	0,15	0,16
-5+2	0,80	0,45	0,35	-	0,80
-2+1	9,03	6,36	0,20	2,47	9,03
-1+0,5	24,29	15,16	0,39	8,74	24,29
-0,5+0,25	26,06	12,78	0,21	13,07	26,06
-0,25+0,2	5,59	0,03	0,04	5,52	5,59
-0,2+0,125	14,08	4,47	0,01	9,60	14,08
-0,125+0,071	7,58	2,42	0,11	5,05	7,58
-0,071+0,040	5,53	1,95	0,11	3,47	5,53
-0,040+0,00	6,88	2,66	0,94	3,28	6,88
Итого:	100,00	46,29	2,36	51,35	100,00

## Минеральный состав проб

Проба Кедровский угольный разрез — КРУ-25				
Компонент	Фракция			Общий состав пробы
	Лёгкая (>1,5 г/см <sup>3</sup> )	Промежуточная (1,5-2,0 г/см <sup>3</sup> )	Тяжёлая (<2,0 г/см <sup>3</sup> )	
	Выход, %			
	83,59	0,38	16,03	100,00
Содержание, %				
*Чистый уголь	83,48	0,33	-	83,81
**Минериты	-	0,03	1,60	1,63
Магнетит	-	-	1,00	1,00
Кварц	-	-	5,51	5,51
Кальцит	0,02	-	1,47	1,49
Анкерит	0,01	-	1,39	1,40
Плагиоклазы	-	-	1,54	1,54
Слюды	-	-	0,49	0,49
Глинистые минералы	0,08	-	0,30	0,38
Обломки пород	-	0,02	2,71	2,73
Гидроксиды железа	-	-	0,02	0,02
Итого:				100,00

Проба Бачатский угольный разрез – ШБ-3-25				
Компонент	Фракция			Общий со-став пробы
	Лёгкая (<1,5 г/см <sup>3</sup> )	Промежуточная (1,5-2,0 г/см <sup>3</sup> )	Тяжёлая (>2,0 г/см <sup>3</sup> )	
	Выход, %			
	51,92	1,36	46,72	100,00
Содержание, %				
*Чистый уголь	51,89	1,21	-	53,10
**Минериты	-	0,08	6,54	6,62
Карбонаты	-	-	0,32	0,32
Кварц	-	-	8,20	8,20
Плагиоклазы	-	-	2,59	2,59
Слюды	-	-	0,68	0,68
Глинистые минералы	0,03	0,04	0,80	0,87
Обломки пород	-	0,03	27,59	27,62
Итого:				100,00

Проба Краснобродский угольный разрез — КШ-25				
Компонент	Фракция			Общий со-став пробы
	Лёгкая (<1,5 г/см <sup>3</sup> )	Промежуточная (1,5-2,0 г/см <sup>3</sup> )	Тяжёлая (>2,0 г/см <sup>3</sup> )	
	Выход, %			
	46,29	2,36	51,35	100,00
	Содержание, %			
*Чистый уголь	45,99	2,33	-	48,32
**Минериты	0,21	0,02	20,03	20,26
Кварц	Ед.зн.	Ед.зн.	9,95	9,95
Кальцит	-	Ед.зн.	1,41	1,41
Анкерит	-	-	0,22	0,22
Плагиоклазы	-	Ед.зн.	1,52	1,52
Глинистые минералы	0,09	-	3,58	3,67
Обломки пород	-	0,01	14,64	14,65
Итого:				100,00

\* угли чистые или слабо загрязненные  
\*\*угольные минеральные ассоциации с содержанием минеральной составляющей в зерне в среднем от 20 до 60 %

плотностью более 2 г/см<sup>3</sup> и крупностью менее 0,071 мм определен при помощи рентгенографического анализа, который выполнялся на дифрактометре ДРОН-3.0.

Последовательность операций по определению минерального состава и фракционного анализа пробы угольных шламов для изучения распределения минералов по фракциям по каждому классу крупности состояла в разделении угольных шламов путём гравитационного фракционирования по плотности (плотность приготовленных жидкостей составляла 1,5 и 2,0 г/см<sup>3</sup>). Результаты гравитационного фракционирования представлены в таблице 1.

Результаты гравитационного фракционирования (таблица 1) показали, что основная масса пробы Кедровского разреза представлена материалом лёгкой фракции — 83,57%. На долю тяжёлой фракции приходится 16,07%. Материал плотностью от 1,5 до 2,0 г/см<sup>3</sup> (промежуточная фракция) составляет 0,36% от общей массы пробы. Основная масса пробы Бачатского разреза представлена материалом лёгкой и тяжёлой фракций, которые находятся приблизительно в равном

количестве — 51,92% и 46,72%. На долю материала плотностью от 1,5 до 2,0 г/см<sup>3</sup> (промежуточная фракция) приходится 1,36% от общей массы пробы. Основная масса пробы Красногорского разреза также представлена материалом тяжёлой и лёгкой фракций, которые находятся приблизительно в равном количестве — 46,29% и 51,35%. На долю материала плотностью от 1,5 до 2,0 г/см<sup>3</sup> (промежуточная фракция) приходится 2,36%.

Минеральный состав проб по фракциям представлен в таблице 2.

При изучении минерального состава проб было установлено, что пробы с отвала Кедровского угольного разреза она на 83,81% сложена чистым или слабо загрязненным углем. В количестве 1,63% присутствуют минериты. Также в пробе отмечаются кварц (5,51%), обломки пород (2,73%), плагиоклазы (1,54%), магнетит (1%) и карбонаты (2,89%) — кальцит, анкерит. В сотых долях процента обнаружены слюды, глинистые минералы и гидроксиды железа. Обломки пород представляют собой зёрна кварца и полевого шпата, сцементированные глинистым и карбонатным материалом, а также отмечаются тонкозернистые

агрегаты серого и тёмно-серого цвета, иногда с вкраплениями углистого вещества. Минеральный состав пробы Бачатского угольного разреза на 53,10% сложен чистым или слабо загрязненным углем. В количестве 6,62% присутствуют минериты. Также в пробе отмечаются обломки пород (27,62%), кварц (8,20%) и плагиоклазы (2,59%). В сотых долях процента обнаружены глинистые минералы, слюды и карбонаты. Обломки пород представлены кварц-полевошпатовыми агрегатами, а также тонкозернистой глинистой породой, иногда с вкраплениями углистого вещества.

При изучении минерального состава пробы было установлено, что она на 48,32% сложена чистым или слабо загрязненным углем. В количестве 20,26% присутствуют минериты. Также в пробе отмечаются обломки пород (14,65%), кварц (9,95%), глинистые минералы (3,67%), плагиоклазы (1,52%) и карбонаты (1,63%) — кальцит, анкерит. Обломки пород представляют собой зёрна кварца и полевого шпата, сцементированные глинистым и карбонатным материалом, а также отмечаются тонкозернистые агрегаты серого и тёмно-серого цвета, иногда с тонкими прослойками угля.

Результаты исследования минерального состава гравитационных фракций показали,

что уголь в основном концентрируется в материале плотностью менее 1,5 г/см<sup>3</sup>. В наименьшем количестве в случае всех трёх проб (0,33–2,34%) уголь обнаружен в промежуточной фракции плотностью от 1,5 до 2,0 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, согласно полученным данным, для доизвлечения угля наиболее подходит лёгкая фракция.

*Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта при финансовой поддержке 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.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов В. Н., Саблин А. В., Лавриненко А. А., Юнаш А.А. Исследование флотируемости углей с различной минерализацией при использовании нового реагента-собирателя // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2008. № 2(22). С. 31–34.
2. Панишев Н.В., Бигеев В.А., Галиулина Е.С. Перспективы утилизации хвостов углеобогащения и твердых отходов тепловых электростанций//Ресурсо-и энергосберегающие технологии в черной металлургии.2015. № 2(17). С. 69–77.
3. Свечникова Н.Ю., Юдина С.В., Мамедалина Н.И. Анализ отходов флотационного обогащения угля // Теория и технология металлургического производства. 2015. № 1(16). С. 19–22.

---

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.84.26.005**

**UDC 622.7**

**© S. A. Prokopyev, 2025**

**S. A. PROKOPYEV**

Candidate of Technical Sciences,

Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

e-mail: sapr100@mail.ru

**STUDY OF THE MINERALOGICAL COMPOSITION OF COAL SLURRIES IN THE KEMEROVO REGION**

*To develop a technology for beneficiation of sludge, it is necessary to have information about the fractional and mineral composition of the samples being studied. The results of gravitational fractionation showed that the main mass of the sample from the Kedrovsky open-pit mine is represented by light-fraction material, while the samples from the Bachatsky and Krasnobrodsky open-pit mines are represented by light- and heavy-fraction material, which are approximately equally distributed. of the beneficiation waste is the most suitable for additional coal extraction.*

Keywords: SLUDGE, FRACTIONAL COMPOSITION, MINERALOGICAL COMPOSITION, COAL, BENEFICIATION.

**REFERENCES**

1. Petukhov V. N., Sablin A. V., Lavrinenko A. A., Yunash A. A. Study of the flotation of coals with different mineralization using a new collector reagent // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov. 2008. No. 2(22). P. 31–34. [In Russ.].
2. Panishev N.V., Bigeev V.A., and Galiulina E.S. Prospects for the Utilization of Coal Enrichment Tailings and Solid Waste from Thermal Power Plants. Resource- and energy-saving technologies in ferrous metallurgy. 2015. No. 2(17). P. 69–77. [In Russ.].
3. Svechnikova N.Yu., Yudina S.V., Mamedalina N.I. Analysis of coal flotation enrichment waste // Theory and Technology of Metallurgical Production. 2015. No. 1(16). P. 19–22. [In Russ.].