

УДК 62-665.4:621.928.89 © Т.Г. Черкасова✉, М.О. Пилин,  
А.В. Тихомирова, 2024

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, Россия  
✉ e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

UDC 62-665.4:621.928.89 © T.G. Cherkasova✉, M.O. Pilin,  
A.V. Tikhomirova, 2024

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),  
Kemerovo, 650000, Russian Federation  
✉ e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

# Исследование магнитной сепарации как этапа комплексной переработки отходов углеобогащения\*

## Studies of magnetic separation as a stage in integrated processing of coal preparation wastes

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-11S-25-32>

Комплексная переработка отходов углеобогащения подразумевает полное их использование, при этом отходы стоит рассматривать как бедные руды в связи с низким содержанием ценных компонентов. Это требует в свою очередь одновременно перерабатывать большие объемы отходов. Одним из методов выделения минеральной части железосодержащих компонентов являются методы магнитной сепарации.

Вданной работе применялась методика сухой магнитной сепарации. Исследовался образец смеси отхода углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» БФ-4, БФ-5 (порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский).

**Ключевые слова:** угольные отходы, магнитная сепарация, углеобогащение, отходы.

**Для цитирования:** Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Тихомирова А.В. Исследование магнитной сепарации как этапа комплексной переработки отходов углеобогащения // Уголь. 2024;(11S):25-32. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-25-32.

### Abstract

Complex processing of coal processing waste implies their full use, while the waste should be considered as low-grade ore due to the low content of valuable components. This, in turn, requires the processing of large volumes of waste at a time. One of the methods for isolating the mineral part of iron-containing components is magnetic separation methods. In this work, the technique of dry stepwise magnetic separation was used. A sample of a mixture of coal preparation waste from Central Processing Plant "Berezovskaya.

### ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, научный руководитель  
Института химических и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

### ПИЛИН М.О.

Аспирант, старший преподаватель  
Института химических и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

### ТИХОМИРОВА А.В.

Канд. хим. наук, доцент, доцент  
Института химических и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru



НОЦ  
КУЗБАСС –  
ДОНБАСС

Научно-образовательный  
центр «Кузбасс-Донбасс»

\* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

**Keywords**

*Coal waste, magnetic separation, coal preparation, waste.*

**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. Studies of magnetic separation as a stage in integrated processing of coal preparation wastes. *Ugol'*. 2024;(115):25-32. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-25-32.

**ВВЕДЕНИЕ**

В угледобывающих странах выход твердых отходов при открытой добыче составляет 3-5 т, при шахтной – 0,2-0,3 т на 1 т добываемого угля или сланца. При обогащении углей выход хвостов составляет 0,15-0,35 т/т угля [1, 2, 3, 4]. По ориентировочным расчетам, только с отходами обогащения в России ежегодно теряется до 4 млн т угля. Для обогащения углей применяют гравитационные и флотационные методы, причем в первом случае используют более крупный материал, что предопределяет значительное различие в гранулометрическом составе отходов этих обогатительных процессов.

Содержание углерода в отходах обогащения составляет примерно от 3 до 25-26% (по другим источникам – 5-20%). Зольная часть состоит преимущественно из оксидов SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (> 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 в том, что они собираются в больших количествах в отвалах и трудно оттуда извлекаются.

Породы вскрыши, отличающиеся высоким содержанием минеральных веществ, могут быть использованы для энергетических целей после предварительного обогащения с получением кондиционного по зольности продукта, в небольших количествах в смеси с малозольными углями для получения водно-угольных суспензий или для сжигания в специальных топочных устройствах (топки с кипящим слоем) [5].

Породы вскрыши могут применяться как закладочный материал и для рекультивации земель, а шахтные – для закладки шахтного пространства. Так, вскрышные породы некоторых карьеров (Канско-Ачинского, Минусинского и др.) [4] могут применяться без селективной отработки слагающих литологических разностей как сырье для производства пористых заполнителей для легких бетонов, керамических стеновых материалов, при строительстве дамб и других инженерных сооружений.

Комплексная переработка отходов углеобогащения подразумевает полное их использование, при этом отходы стоит рассматривать как бедные руды в связи с низким содержанием ценных компонентов. Это требует в свою

очередь одновременно перерабатывать большие объемы отходов. Одним из методов выделения минеральной части железосодержащих компонентов являются методы магнитной сепарации.

Существующие способы извлечения утяжелителя из продуктов обогащения основаны на различии физико-химических, магнитных и других свойств утяжелителя и обогащаемого материала. Из немагнитной суспензии угольные частицы удаляются флотацией, а из магнетитовой или ферросилициевой – магнитной сепарацией.

Для улучшения процессов регенерации суспензии необходимо производить предварительную дешламацию обогащаемого угля с целью удаления тонких частиц (обычно мельче 0,5 мм). Это целесообразно производить даже при наличии небольшого количества тонких шламов в угле.

Наиболее дешевым процессом регенерации магнетитовой суспензии является магнитная сепарация. Этим во многом объясняется широкое применение магнетита и других магнитных минералов в качестве утяжелителя.

Потери магнетита с немагнитными фракциями магнитных сепараторов составляют менее 0,05 кг/т, а потери его со сливом сгустителя – ничтожно малую величину. В среднем общие потери магнетита составляют около 0,55 кг/т исходного угля [6].

Магнитные методы обогащения применяют при переработке различных металлических и неметаллических полезных ископаемых и других видов сырья. При этом если в руде содержатся минералы, имеющие магнитные свойства, то на стадии разработки схемы обогащения обязательно рассматривают возможность применения магнитного метода [7].

Вопросами селективного выделения гематита исследователи занимаются многие десятилетия [8, 9, 10, 11, 12]. Основное внимание уделяется флотационному разделению оксидов железа и кварца в процессах прямой и обратной флотации [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Селективное отделение гематита от других железосодержащих минералов и других минералов исследуется в меньшей мере [6, 7].

Помимо флотационного выделения гематита также есть работы, связанные с выделением с помощью магнитной сепарации [8, 9].

В данной работе применялась методика сухой магнитной сепарации. Исследовался образец смеси отхода углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» БФ-4, БФ-5 (порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский). Цель – возможность извлечения товарной железосодержащей фракции из отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская». Использовалась аппаратура: весы HR – 250 AZG; сепаратор электромагнитный валовой ЭВС-15/5. Указанные приборы должны отвечать требованиям соответствующих технических условий.

**ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ**

Испытания проводились при силе тока 5 А, 10 А, 15 А, подаваемого на электромагнит. Для исследования брали отход массой 100 г с размером частиц 0,032 мм, 0,14 мм,

0,2 мм. Для определения минералогического состава полученных образцов использовался рентгенофазовый анализ, производимый с помощью дифрактометра «Колibri» фирмы «Буревестник». Рентгенограммы снимались с шагом 0,02 в интервале 5-80° 2θ с вращением 60 об./мин и выдержкой 1,0 с в точке. Эксперимент выполнен при стандартных условиях с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Напряжение на трубке – 40 кВт, ток – 30 мА.

Результаты исследования образцов отходов размером 0,032 мм представлены в табл. 1, 2, 3, 4, 5, 6 (рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Результаты исследования образцов отходов размером 0,14 мм представлены в табл. 7, 8, 9, 10, 11, 12 (рис. 7, 8, 9, 10, 11, 12).

Результаты исследования образцов отходов размером 0,2 мм представлены в табл. 13, 14, 15, 16, 17, 18 (рис. 13, 14, 15, 16, 17, 18).

Таблица 1

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,032 мм при силе тока 5 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,032 mm fraction at the current strength of 5 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	–
Calcite	16,88
Siderite	<b>9,43</b>
Dolomite	12,50
Augite	27,44
Kaolinite	33,75

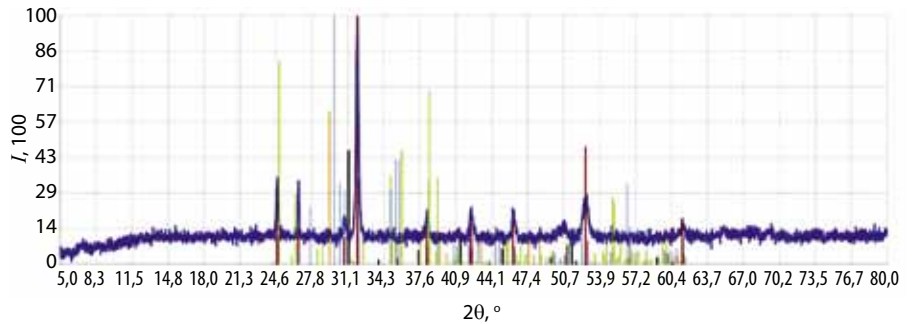


Рис. 1. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 5 А, размер частиц 0,032мм

Fig. 1. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 5 A, the 0,032 mm fraction

Таблица 2

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,032 мм при силе тока 5 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,032 mm fraction at the current strength 5 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	49,01
Calcite	4,60
Siderite	<b>5,24</b>
Dolomite	9,83
Augite	7,48
Kaolinite	23,84

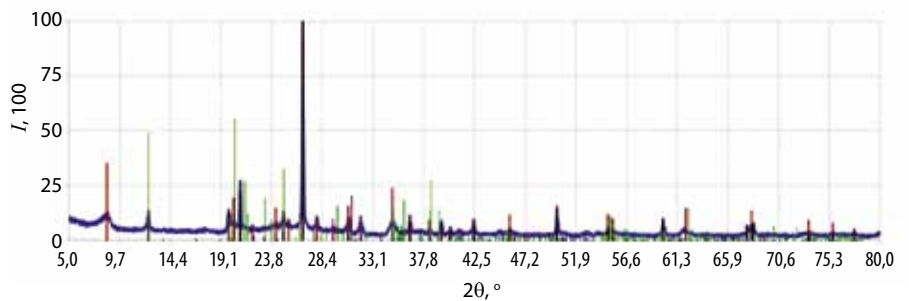


Рис. 2. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 5 А, размер частиц 0,032мм

Fig. 2. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 5 A, the 0,032 mm fraction

Таблица 3

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,032 мм при силе тока 10 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,032 mm fraction at the current strength of 10 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	–
Calcite	16,88
Siderite	<b>9,43</b>
Dolomite	12,50
Augite	27,44
Kaolinite	33,75

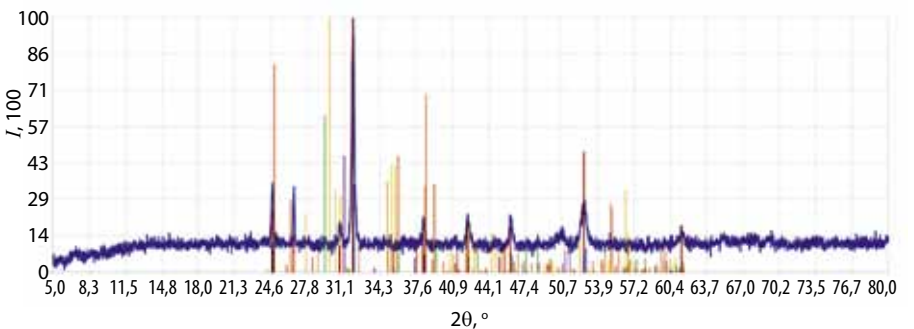


Рис. 3. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 10 А, размер частиц 0,032 мм

Fig. 3. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 10 A, the 0,032 mm fraction

Таблица 4

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,032 мм при силе тока 10 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,032 mm fraction at the current strength of 10 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	50,92
Calcite	3,88
Siderite	<b>2,50</b>
Dolomite	9,66
Augite	6,30
Kaolinite	26,74

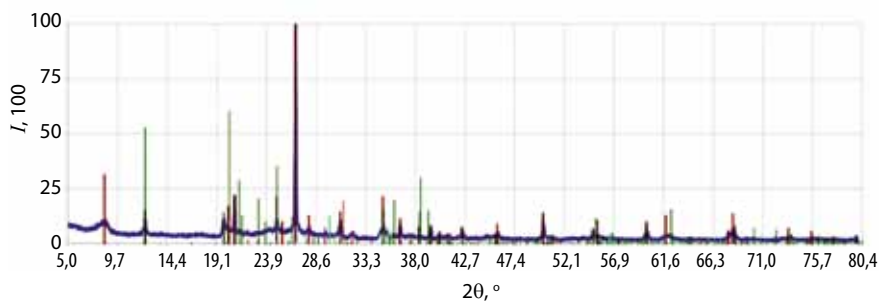


Рис. 4. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 10 А, размер частиц 0,032мм

Fig. 4. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 10 A, the 0,032 mm fraction

Таблица 5

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,032 мм при силе тока 15 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,032 mm fraction at the current strength of 15 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	–
Calcite	3,41
Siderite	<b>36,66</b>
Dolomite	23,99
Augite	5,54
Kaolinite	29,40

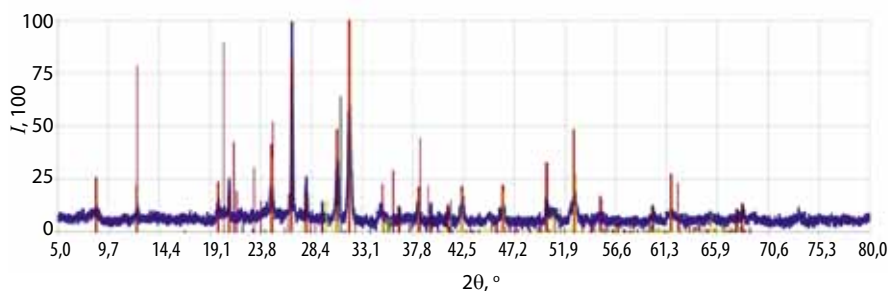


Рис. 5. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 15 А, размер частиц 0,032 мм

Fig. 5. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 15 A, the 0,032 mm fraction

Таблица 6

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,032 мм при силе тока 15 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,032 mm fraction at the current strength of 15 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	51,17
Calcite	4,69
Siderite	<b>2,51</b>
Dolomite	9,64
Augite	7,63
Kaolinite	24,36

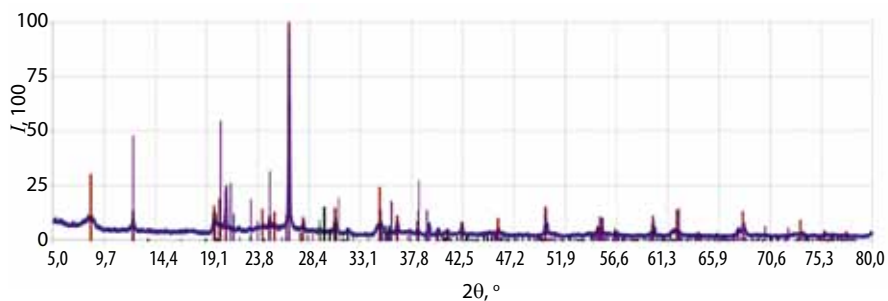


Рис. 6. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 15 А, размер частиц 0,032 мм

Fig. 6. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 15 A, the 0,032 mm fraction

Таблица 7

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,14 мм при силе тока 5 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,14 mm fraction at the current strength of 5 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	14,83
Calcite	17,01
Siderite	<b>19,76</b>
Dolomite	12,60
Augite	6,46
Kaolinite	29,34

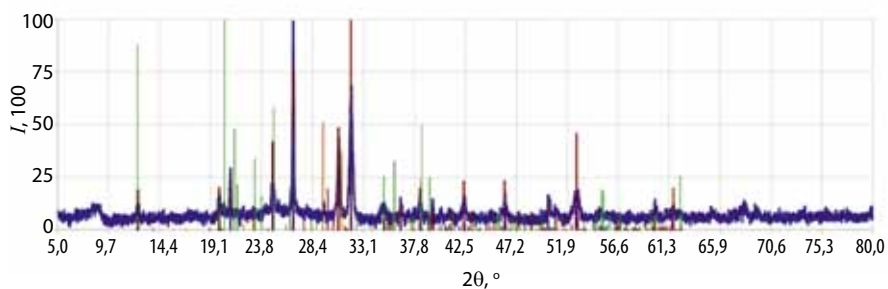


Рис. 7. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 5 А, размер частиц 0,14 мм

Fig. 7. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 5 A, the 0,14 mm fraction



Таблица 8

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,14 мм при силе тока 5 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,14 mm fraction at the current strength of 5 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	22,97
Calcite	3,85
Siderite	<b>18,90</b>
Dolomite	17,53
Augite	6,26
Kaolinite	30,47

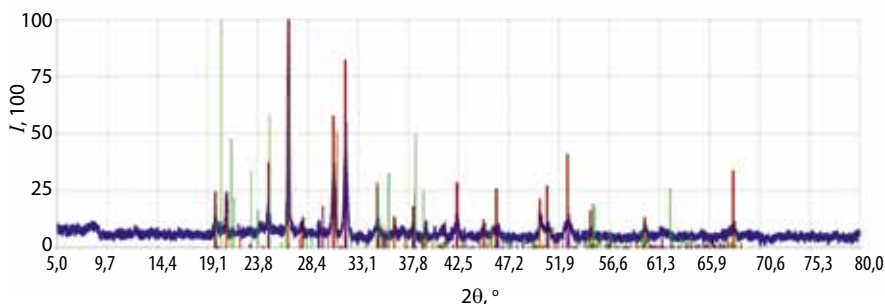


Рис. 8. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 5 А, размер частиц 0,14 мм

Fig. 8. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 5 A, the 0,14 mm fraction

Таблица 9

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,14 мм при силе тока 10 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,14 mm fraction at the current strength of 10 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	23,20
Calcite	1,87
Siderite	<b>20,73</b>
Dolomite	20,23
Augite	3,04
Kaolinite	30,94

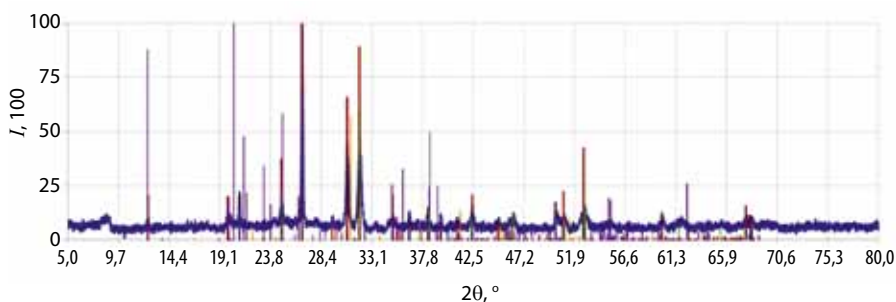


Рис. 9. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 10 А, размер частиц 0,14 мм

Fig. 9. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 10 A, the 0,14 mm fraction

Таблица 10

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,14 мм при силе тока 10 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,14 mm fraction at the current strength of 10 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	49,72
Calcite	3,85
Siderite	<b>6,34</b>
Dolomite	8,41
Augite	6,47
Kaolinite	25,08

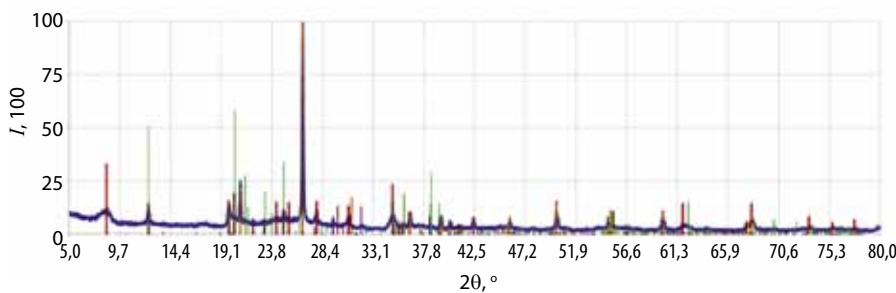


Рис. 10. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 10 А, размер частиц 0,14 мм

Fig. 10. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at a the current strength of 10 A, the 0,14 mm fraction

Таблица 11

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,14 мм при силе тока 15 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,14 mm fraction at the current strength of 15 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	22,97
Calcite	3,85
Siderite	<b>18,90</b>
Dolomite	17,53
Augite	6,26
Kaolinite	30,47

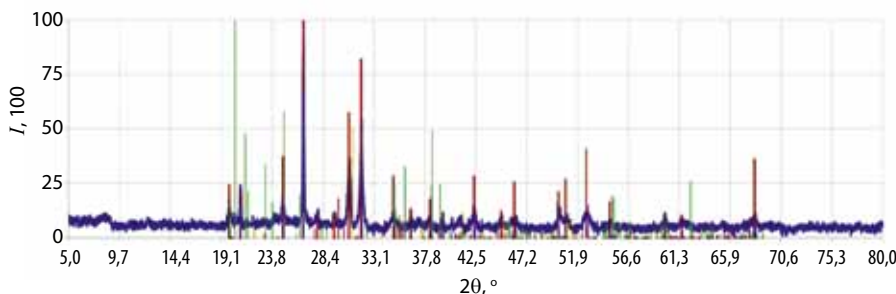


Рис. 11. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 15 А, размер частиц 0,14 мм

Fig. 11. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 15 A, the 0,14 mm fraction

Таблица 12

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,14 мм при силе тока 15 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,14 mm fraction at the current strength of 15 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	50,17
Calcite	4,53
Siderite	<b>5,91</b>
Dolomite	7,83
Augite	7,36
Kaolinite	24,20

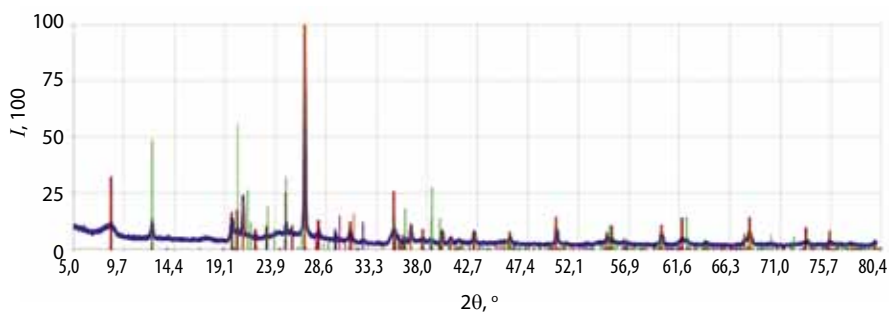


Рис. 12. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 15 А, размер частиц 0,14 мм

Fig. 12. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 15 A, the 0,14 mm fraction

Таблица 13

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,2 мм при силе тока 5 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,2 mm fraction at the current strength of 5 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	13,93
Calcite	2,40
Siderite	<b>34,38</b>
Dolomite	10,74
Augite	3,90
Kaolinite	34,65

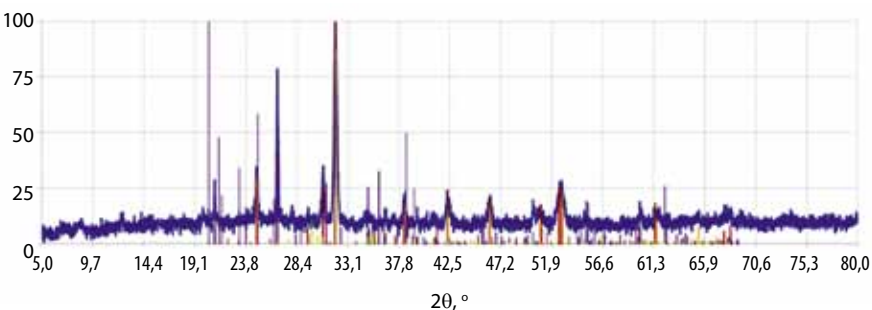


Рис. 13. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 5 А, размер частиц 0,2 мм

Fig. 13. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 5 A, the 0,2 mm fraction

Таблица 14

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,2 мм при силе тока 5 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,2 mm fraction at the current strength of 5A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	49,99
Calcite	4,63
Siderite	<b>1,97</b>
Dolomite	9,47
Augite	7,53
Kaolinite	26,41

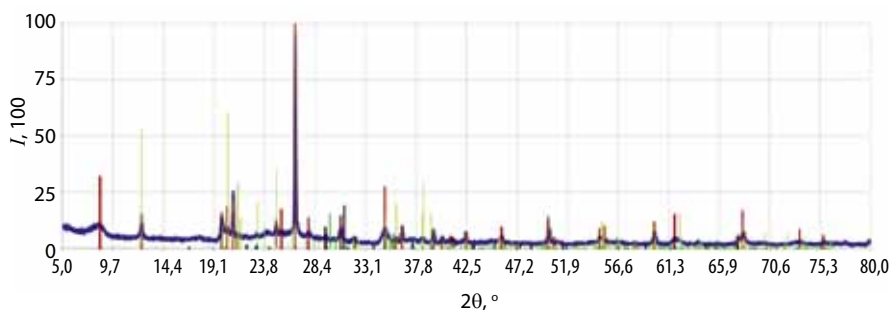


Рис. 14. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 5 А, размер частиц 0,2 мм

Fig. 14. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 5 A, the 0,2 mm fraction

Таблица 15

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,2 мм при силе тока 10 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,2 mm fraction at the current strength of 10A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	19,29
Calcite	2,70
Siderite	<b>24,61</b>
Dolomite	14,69
Augite	4,38
Kaolinite	34,33

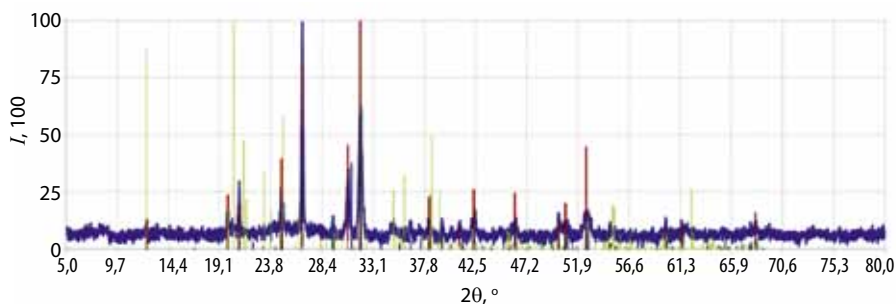


Рис. 15. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 10 А, размер частиц 0,2 мм

Fig. 15. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 10 A, the 0,2 mm fraction

Таблица 16

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,2 мм при силе тока 10 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,2 mm fraction at the current strength of 10 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	49,78
Calcite	4,16
Siderite	<b>5,80</b>
Dolomite	7,69
Augite	6,77
Kaolinite	25,79

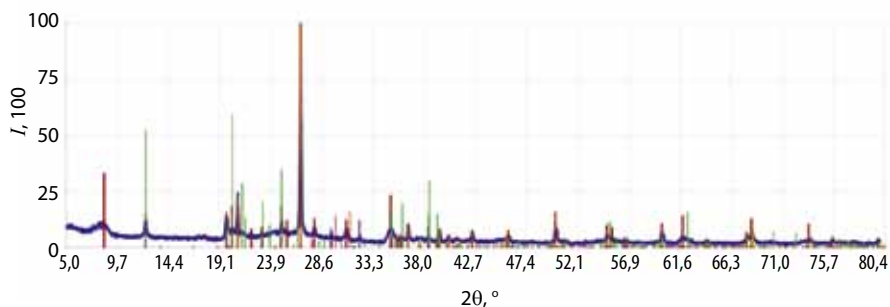


Рис. 16. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 10 А, размер частиц 0,2 мм

Fig. 16. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 10 A, the 0,2 mm fraction

Таблица 17

**Фазовый анализ магнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,2 мм при силе тока 15 А**

Phase analysis of the magnetic fraction of coal processing waste of the 0,2 mm fraction at the current strength of 15 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	19,29
Calcite	2,70
Siderite	<b>24,61</b>
Dolomite	14,69
Augite	4,38
Kaolinite	34,33

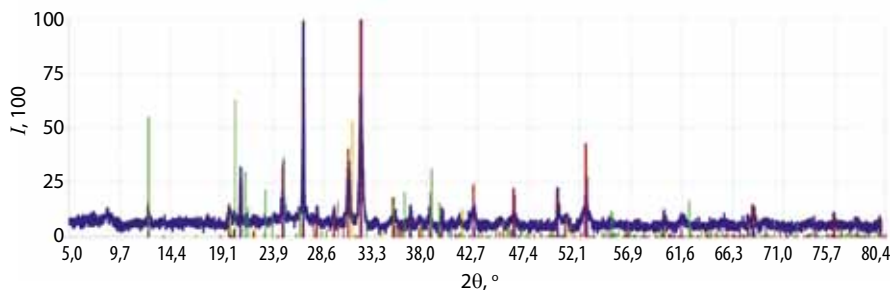


Рис. 17. Дифрактограмма валового состава магнитной фракции после сепарации при силе тока 15 А, размер частиц 0,2 мм

Fig. 17. An XRD pattern of the magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 15 A, the 0,2 mm fraction

Таблица 18

**Фазовый анализ немагнитной фракции отходов углеобогащения размером 0,2 мм при силе тока 15 А**

Phase analysis of the non-magnetic fraction of coal processing waste of the 0,2 mm fraction at the current strength of 15 A

Фаза	Содержание (масс, %)
Quartz	50,01
Calcite	4,61
Siderite	<b>0,88</b>
Dolomite	8,32
Augite	7,50
Kaolinite	28,68

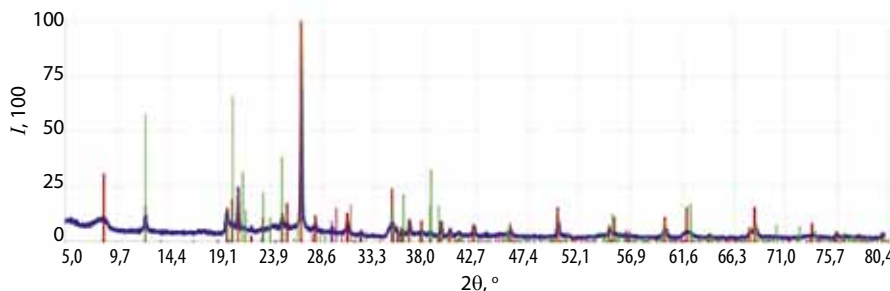


Рис. 18. Дифрактограмма валового состава немагнитной фракции после сепарации при силе тока 15 А, размер частиц 0,2 мм

Fig. 18. An XRD pattern of the non-magnetic fraction bulk composition upon separation at the current strength of 15 A, the 0,2 mm fraction

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Как следует из представленных данных, наибольший выход сидерита (FeCO<sub>3</sub>) наблюдается для фракции 0,2 мм при силе тока 15 А и составляет 96,5%. В этом же случае зафиксировано самое низкое содержание соединений железа в немагнитной фракции – 0,88%. По остальным фракциям выход FeCO<sub>3</sub> колеблется от 51% для фракции 0,14 мм (I = 5 А) до 94% для фракции 0,2 мм (I = 5 А).

Хороший выход сидерита зафиксирован также для образца крупностью 0,032 мм и силе тока 15 А. В целом, очевидно, что для отхода крупностью 0,032 мм характерно отсутствие кварца в магнитной фракции. При этом имеет смысл повышать силу тока при сепарации до 15 А, так как

в образце магнитного концентрата в этом случае наблюдается самое большое содержание сидерита – 36,66%. Учитывая, что подобное содержание FeCO<sub>3</sub> (34,38%), по данным исследования, выявлено для фракции 0,2 мм/5 А, то очевидно, что крупность частиц существенно не влияет на выход магнитной фракции. Вместе с тем, учитывая, что при увеличении крупности за счет образования «сростков» минералов в магнитной части появляется кварц, использовать магнитный концентрат в качестве товарного концентрата не представляется возможным, в то же время при слишком сильном измельчении и низких силах тока, несмотря на отсутствие кварца, содержание сидерита в магнитном концентрате достаточно мало.

Так или иначе, за счет эффектов срастания и налипания различных минералов на железосодержащие невосможно использовать полученные концентраты сразу в металлургии.

### Список литературы • References

- О кондиционировании угольной шихты для коксования / В.Н. Егоров, А.В. Анисимов, Н.А. Тарасов и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 2(18). С. 18-24.  
Egorov V.N., Anisimov A.V., Tarasov N.A. et al. On coal charge conditioning for coking. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. 2007;(18):18-24. (In Russ.).
- Исследование флотиремости углей с различной минерализацией при использовании нового реагента-собирателя / В.Н. Петухов, А.В. Саблин, А.А. Лавриненко и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 2(22). С. 31-34.  
Petukhov V.N., Sablin A.V., Lavrinenko A.A., Yunash A.A. Studies into flotation ability of coals with different mineralisation using a new collecting agent. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. 2008;(22):31-34. (In Russ.).
- 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.  
Svechnikova N.Yu., Yudina S.V., Mamedalina N.I. Analysis of flotation waste coal. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*, 2015;(1):19-22. (In Russ.).
- Кизильштейн Л.Я., Дубов Н.В., Шпицглюз А.Л. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.
- 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.  
Panishev N.V., Bigeev V.A., Galiulina E.S. Perspectives of utilization of coal enrichment as well as thermoelectric plants wastes. *Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii v chernoy metallurgii*. 2015;(2):69-77. (In Russ.).
- Акопов М.Г. Обогащение углей в гидроциклонах. М.: Недра, 1967. 180 с.
- Пелевин А.Е. Магнитные и электрические методы обогащения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 296 с.
- Полькин С.И. Флотация руд редких металлов и олова. М.: Гос. науч.-техн. изд-во по горному делу, 1960.
- Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. М.: Недра, 1977.
- Lima N.P., Valadão G.E.S., Peres A.E.C. Effect of amine and starch dosages on the reverse cationic flotation of an iron ore. *Minerals Engineering*. 2013;(45).
- Arantes R.S., Lima R.M.F. Influence of sodium silicate modulus on iron ore flotation with sodium oleate. *International Journal of Mineral Processing*. 2013;(125).
- Uwadiale G.G.O.O. Flotation of iron oxide and quartz – a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 1992;(11).
- Rocha L., Cançado R.Z.L., Peres A.E.C. Iron ore slimes flotation. *Minerals Engineering*. 2010;(23):11-13.
- Ma X., Marques M., Gontijo C. Comparative studies of reverse cationic/anionic flotation of vale iron ore. *International Journal of Mineral Processing*. 2011.
- De Mesquita I.M.S., Lins F.F., Torem M.I. Interaction of a hydrophobic bacterium strain in a hematite-quartz flotation system. *International Journal of Mineral Processing*. 2003;(71):1-4.

### Authors Information

**Cherkasova T.G.** – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Science Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Pilin M.O.** – Postgraduate, Senior Lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

**Tikhomirova A.V.** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2024

Поступила после рецензирования: 21.10.2024

Принята к публикации: 31.10.2024

### Paper info

Received September 15, 2024

Reviewed October 21, 2024

Accepted October 31, 2024