УДК 662.6:552 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-65-75

Исследование влияния физико-химических свойств органического и минерального состава рядовых углей мелких классов на эффективность обогащения

Камоза Е. С.[1]*, Михайлова Е. С.[1], Исмагилов З. Р.[1, 2]
[1] Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН, г. Кемерово, Россия
[2] Институт катализа Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия
e-mail: ms.kamoza@mail.ru

Реферат

Введение. *В работе представлены результаты исследования влияния петрографических характеристик, элементного и минерального состава на эффективность обогащения мелких классов углей Кедровско-Крохалевского месторождения. Рассмотрены результаты изучения физико-химических свойств рядовых углей на стадии добычи и формирования сырьевой базы обогатительной фабрики.*

Цель работы. *Исследовать энергетические угли физико-химическими методами анализа для выявления основных параметров, влияющих на качество продуктов обогащения. На основании полученных данных разработать методику оценки показателей, влияющих на процесс обогащения и дальнейшее прогнозирование при отработке новых участков и пластов.*

Методология. *Методологические работы по определению структурных особенностей рядовых углей марки КСН (коксовый слабоспекающийся низкометаморфизированный) проводились путем сравнительного анализа трех образцов по следующим параметрам: результаты лабораторной флотации, общие технические параметры, мацеральный состав, элементный состав органической массы и минеральный состав золы.*

Результаты. *Установлено, что угли, имеющие схожую природу происхождения, одной стадии метаморфизма, могут иметь отличные по ряду параметров показатели: гранулометрический состав, количество и морфологию микрокомпонентов по данным количественного петрографического анализа, а также содержание гидрофильных функциональных групп на поверхности углей.*

Выводы. *Результаты выполненных исследований позволили выявить ряд зависимостей, которые могут быть полезны при оценке качества рядовых углей, направляемых на углеперерабатывающее предприятие.*

Ключевые слова: *показатели качества углей; обогащение; классификация углей; петрографический состав; минеральный состав.*

Введение. Кузнецкий угольный бассейн, расположенный в основном в Кемеровской области, остается лидером по добыче каменного угля в Западной Сибири. Доля кузнецкого угля в общем объеме добычи угля в России в 2020 г. составила 55 % и является перспективной по качественным показателям и величине запасов.

В работе изучены угли с разработанных горных участков, расположенных в геолого-экономическом районе Кузбасса в пределах Кедровско-Крохалевского месторождения. В пределах участков отрабатываются пласты: Кемеровский, Волковский, Подволковский, Подволковский I, Подволковский II. Угли относятся к средне- и высокозольным, малосернистым, категория обогатимости – средняя и трудная. Сырье для переработки представлено энергетическими технологическими марками КСН (коксовый слабоспекающийся низкометаморфизированный) и СС (слабоспекающийся). Однако наряду с углем, соответствующим проектным качественно-

количественным характеристикам, ведется отработка угля, в процессе добычи которого образуется существенное количество мелкой фракции, имеющей низкую эффективность при переработке на обогатительной фабрике (выход концентрата). При этом запасы данного сырья свидетельствуют о значительных перспективах увеличения объемов добычи и переработки.

При прогнозировании поведения углей в технологических процессах ориентируются на ряд стандартных признаков, отражающих их состав и общие свойства. Однако для рационального и энергоэффективного применения угольного сырья и продуктов его переработки недостаточно общих технических характеристик, таких как марочный состав, крупность, зольность, влажность, выход летучих веществ, нужен более глубокий подход и расширенный перечень качественных параметров. Для этого в работе исследованы образцы рядовых углей, входящих в сырьевую базу обогатительной фабрики.

Целью работы является исследование энергетических углей Кедровско-Крохалевского месторождения физико-химическими методами анализа для выявления основных параметров, влияющих на качество продуктов обогащения. На основании полученных данных разработана методика оценки показателей, влияющих на процесс обогащения и дальнейшее прогнозирование при отработке новых участков и пластов.

Методика проведения исследований. Для сравнительного анализа были взяты три образца эксплуатационных проб рядового угля Кедровско-Крохалевского месторождения со схожими общими техническими характеристиками, но различными результатами при обогащении флотационным методом. Пробоотбор произведен с разрабатываемых горных участков: проба № 1 – пл. Подволковский I; проба № 2 – пл. Подволковский I; проба № 3 – пл. Подволковский II. Масса первой пробы составила 600 кг, второй – 300 кг, третьей – 300 кг. Каждый пробоотбор произведен в соответствии с ГОСТ 9815-75 «Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Методы отбора пластовых проб» в пределах вынимаемой мощности пластов. Образцы представляют собой представительные объединенные пробы от точечных проб, взятых по простиранию пластов вручную через 15 м. Строение пластов – выдержанное. Максимальный размер куска топлива – 150 мм.

Для лабораторных исследований образцы подготовлены по ГОСТ 10742 «Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний». Для аналитических исследований использовался уголь с размером частиц менее 0,2 мм. Проведен технический анализ проб следующими методами: ГОСТ Р 55661-2013 (ISO 1171:2010) «Топливо твердое минеральное. Определение зольности»; ГОСТ 33503-2015 (ISO 11722:2013) «Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги в аналитической пробе»; ГОСТ Р 55660-2013 (ISO 562:2010) «Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ»; ГОСТ 147-2013 (ISO 1928:2009) «Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания»; ГОСТ 1186-2014 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей»; ГОСТ 20330-91 (ISO 501-81) «Уголь. Метод определения показателя вспучивания в тигле». Состав органической массы углей определяли стандартным методом элементного анализа согласно ГОСТ 2408.1-95 (ИСО 625-96) «Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода» путем сжигания навесок в токе кислорода.

Количественный петрографический анализ полученных концентратов выполнен на автоматизированном комплексе оценки марочного состава углей системы *SIAMS-620* (Россия). Подсчет микрокомпонентов в каждом аншлиф-брикете из измельченного угля произведен автоматически при увеличении в отраженном свете в 300 раз.

Морфологию микрокомпонентов исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа *JEOL JSM6390 SEM* (Япония).

Анализ минерального состава золы исследуемых образцов угля определен методом оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, а также лазерным пробоотбором *ICAP 6500 DUO*. Зольные остатки получали при 815 °С согласно ГОСТ Р 55661-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности» медленным озолением аналитических проб углей. При разработке методики, используемой для анализа, за основу взят ГОСТ Р 54237 «Определение химического состава золы методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой». Для пробоподготовки навески предварительно подготовленные образцы смешивались в равных количествах со связующим, в качестве которого использовали поливиниловый спирт. Далее образцы подвергали одноосному прессованию при давлении 5 т/см^2. Полученные компакты использовались для проведения лазерного пробоотбора.

Таблица 1. Гранулометрический состав исследуемых образцов рядового угля по машинным классам

Table 1. Test raw coal samples size analysis by machine class

Класс, мм	Метод обогащения/ аппараты	Выход, %		
		Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
+1	Тяжелосредное обогащение	89,0	84,2	67,0
0,25–1	Спиральные сепараторы	6,3	9,3	13,0
–0,25	Пенная флотация	4,7	6,5	20,0

С-ЯМР (ядерный магнитный резонанс) спектры высокого разрешения в твердом теле регистрировались на приборе *Bruker Avance III 300 WB* с использованием стандартной методики кросс-поляризации с вращением под магическим углом и развязкой от протонов (CPMAS) при частоте 75 МГц. Время контакта 1000 мкс, накопление 4096 сканов, задержка между сканами 2 с, частота вращения образца 7 кГц. Для получения количественных данных проводилось моделирование спектров при помощи программы *Dmfit*. Модель включала от 9 до 13 компонент в зависимости от стадии метаморфизма углей, соответствующих следующим группам углеродных атомов, максимум ppm: 187–235 – карбонильные группы (C = O); 171–187 – карбоксильные группы (COOH); 148–171 – ароматические атомы углерода, связанные с атомами кислорода ($C_{ар}$ – O); 129–148 – ароматические атомы углерода ($C_{ар}$); 93–129 – протонированные ароматические атомы углерода ($C_{ар}H$); 67–93 – O-замещенные алифатические фрагменты ($C_{алк}O$); 51–67 – метоксильные фрагменты (OCH_3); 25–51 – атомы углерода алкильных фрагментов (CH_2); 0–25 – концевые атомы углерода алкильных фрагментов (CH_3); степень ароматичности $f_а = (C_{ар}O + C_{ар} + C_{ар}H)/100$. По результатам моделирования определялась относительная доля каждой группы углеродных атомов.

Обсуждение и анализ. Гранулометрический состав исходных углей, их обогатимость, параметры качества выпускаемой продукции влияют на выбор методов обогащения по машинным классам, т. е. разделение на продукты обогащения в обогатительном аппарате соответствующей конструкции [1]. На фабрике, входящей в состав разреза и перерабатывающей все классы крупности, обогащение производится тремя машинными классами, включая флотацию шлама, являющуюся

элементом системы обработки шламовых вод. Контроль крупности угля на стадии добычи и складирования позволяет оптимально подобрать шихту рядового угля, нагрузку на отдельные обогатительные аппараты и, как следствие, спрогнозировать результаты обогащения на выходе.

В табл. 1 представлен **гранулометрический состав по машинным классам**. Согласно данным, приведенным в таблице, наблюдается существенное отличие в количественных параметрах по машинным классам. Стоит отметить принципиальное отличие способа обогащения крупных классов (с размером частиц более 0,25–0,5 мм) – применяется гравитационное обогащение – и мелких (с размером менее 0,25 мм) – флотационное обогащение, при которых кроме гравитации существенное влияние оказывает смачиваемость. Значительное увеличение долевого участия мелких классов влечет за собой повышенную нагрузку не только на флотационное оборудование, ухудшение параметров обезвоживания, но и потери во всем технологическом процессе ввиду засорения более крупных машинных классов [2].

Таблица 2. Сравнительные результаты технического и элементного анализа по образцам
Table 2. Comparative results of technical and elemental sample analysis

Проба	Технический анализ, %						Элементный состав, % на daf		
	A^d, %	W^a, %	V^{daf}, %	Q, ккал/кг	У, мм	Si, ед.	C	H	(O+N+S)
№ 1	20,0	1,4	23,9	8127	8	3	83,0	4,7	12,3
№ 2	17,9	1,1	24,4	8093	8	3	84,2	5,1	10,7
№ 3	20,8	1,1	24,4	8473	7	1	89,2	5,4	5,4

A^d – зольность на сухое состояние, W^a – влага аналитическая, V^{daf} – выход летучих веществ на сухое беззольное состояние, Q – калорийность, У – толщина пластического слоя, Si – индекс свободного вспучивания.

Результаты технического и элементного анализа по образцам представлены в табл. 2. Исходя из общих характеристик видно, что все исследуемые образцы зольные и характеризуются средним выходом летучих веществ. По содержанию углерода все угли относятся к группе среднеметаморфизованных [3]. На основании результатов высшей теплоты сгорания согласно ГОСТ 32356-2013 «Угли каменные и антрациты окисленные Кузнецкого и Горловского бассейнов. Классификация» пробы № 1 и 2 входят в диапазон I группы окисленности (для марки КСН: 7450–8280 ккал/кг); проба № 3 – не является окисленной. При этом выход концентрата на втором образце на 17,2 % больше относительно первого образца. Показательным является содержание C и H: в образце с худшим выходом флотации оно меньше и соответственно больше содержание (O+N+S) – 12,3 % при содержании 10,7 % и 5,4 % во второй и третьей пробе соответственно.

Результаты обогащения методом лабораторной флотации представлены в табл. 3. Процесс обогащения методом пенной флотации является основным для классов менее 0,25 мм. Эффективность флотационного процесса существенно влияет на итоговые технико-экономические показатели предприятия. Совокупный показатель флотируемости твердой фазы углей определяется степенью метаморфизма угля, окисленностью поверхности, содержанием на ней различных функциональных групп, характером минерализации, степенью прорастания угольного вещества породообразующими минералами, крупностью отдельных частиц, составом органической и минеральной части, пористостью [4–6].

Согласно данным табл. 3, результаты лабораторной флотации угольных образцов, отобранных единовременно с одного и того же участка, отличаются (выход

флотоконцентрата по пробе № 1 ниже на 17,2 % и 15,8 % по сравнению с выходом по пробам № 2 и 3 соответственно), что говорит об имеющихся структурных и морфологических различиях характеристик, влияющих на эффективность флотационного процесса. Флотация проводилась с учетом одинакового реагентного режима, соответствующего режиму обогатительной фабрики разреза.

Таблица 3. Результаты лабораторной флотации
Table 3. Laboratory flotation results

	Проба № 1 (пл. Подволковский I)	Проба № 2 (пл. Подволковский I)	Проба № 3 (пл. Подволковский II)
	Флотоконцентрат		
Выход, %	65,6	82,8	81,4
Зольность, %	9,9	10,5	11,7
	Флотоотходы		
Выход, %	34,4	17,2	18,6
Зольность, %	39,3	53,5	60,8
Исходная проба, зольность, %	20,0	17,9	20,8

Для проведения **петрографического исследования** подготовлены лабораторные пробы крупностью 0–0,25 мм, соответствующие крупности исходного угля питания флотации. Для дальнейшего определения марочного состава из проб выделен концентрат. С этой целью пробы обогащали методом лабораторной флотации на стандартной лабораторной установке. По мацеральному составу установлена категория угля по генетической и технологической классификациям, а также применена кодификация каменных углей и антрацитов. По совокупности результатов: значений отражательной способности витринита (Ro), суммы фюзенизированных компонентов (ΣОК) и выхода летучих веществ (V^{daf}, %) – угли идентифицировались по марочному составу (табл. 4).

Таблица 4. Сравнительный петрографический анализ (угли марки КСНФ (коксовый слабоспекающийся низкометаморфизированный фюзинитовый))
Table 4. Comparative petrographic analysis

Образец	A^d, % флотоконцентрат	V^{daf}, %	У, мм	Петрография					Стадия метаморфизма
				Vt	Sv	I	∑ОК	Ro	
Проба № 1	9,9	24,5	8	57	3	40	42	0,963	II–III
Проба № 2	10,5	25,1	8	35	2	63	64	0,962	II–III
Проба № 3	11,7	25,8	7	48	2	50	51	0,990	II–III

Ro – показатель отражения витринита (в иммерсионном масле, случайной ориентации); Vt – витринит; Sv – семивитринит; I – инертинит; ΣОК – сумма отощающих компонентов.

Согласно ГОСТ 21489-76 «Угли бурые, каменные и антрациты. Разделение на стадии метаморфизма и классы по показателю отражения витринита» все пробы относятся ко II–III стадиям метаморфизма каменноугольной группы. Как правило, с увеличением степени углефикации флотируемость возрастает: угли средней степени углефикации флотируются лучше, чем более молодые, что не противоречит полученным результатам [7–9].

По результатам петрографического анализа содержание микрокомпонентов в образцах отличается: в пробе № 1 сумма отощающих компонентов на 22 % меньше,

чем в пробе № 2, и на 9 % меньше содержания в пробе № 3. Сравнительный анализ петрографического состава и параметров обогащения показал, что при увеличении содержания суммы отощающих компонентов (фюзенизированных) относительно витринита наблюдается увеличение выхода флотоконцентрата. Полученная по совокупным данным графическая зависимость наглядно изображена на рис. 1. Кроме того, согласно классификации, разделение марки угля на витринитовую и фюзенитовую подгруппы зависит от содержания отощающих компонентов (больше 40 % – фюзенитовая подгруппа).

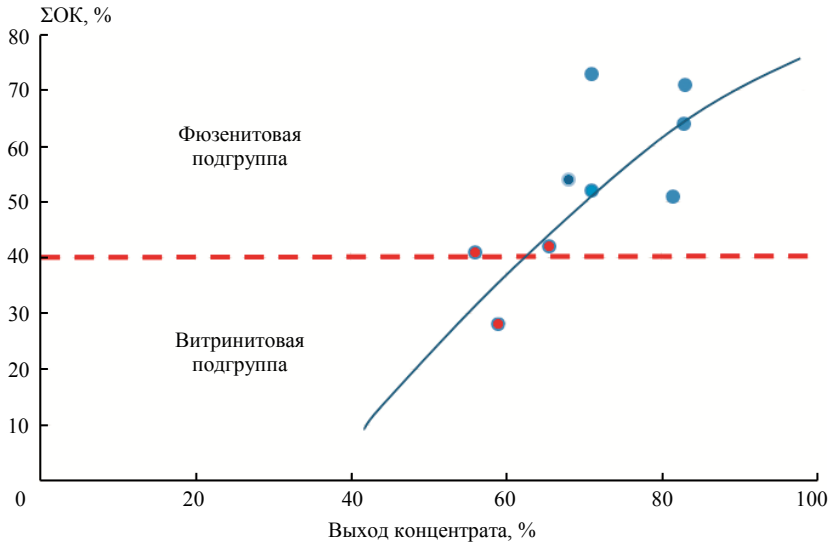

Рисунок 1. Графическая зависимость содержания петрографического состава и параметров обогащения
Figure 1. Graphical dependence of petrographic composition content and beneficiation parameters

Поверхностные свойства основных микрокомпонентов, составляющих органическую часть, различны. Простые литотипы витрен и фюзен (который под микроскопом идентифицируется как инертинит) в проходящем свете представлены на рис. 2. Витрен (рис. 2, *а*) имеет плотное, монолитное строение, и поэтому его прослойки в угольном пласте характеризуются ярко выраженным блеском. Инертинит (рис. 2, *б*) имеет волокнистое строение, зачастую представлен сростками, и в процессе гравитационного разделения основная его часть попадает в промпродуктовую фракцию. Подробное изучение отдельных микрокомпонентов позволит определить степень их влияния на технологические свойства при флотации.

Гистограммы имеют одномодальный тип, без разрывов, существенных сдвигов по диапазонам, согласно рефлектограммному анализу, не наблюдается, что говорит об однородности исследуемых углей [10, 11]. Пик частоты попаданий по пробам № 1 и 2 приходится в область 0,95–1,0, а по пробе № 3 – «правее» 1–1,05↓↑.

Важное значение для флотации имеет состояние поверхности частиц углей [12, 13]. Взаимодействие поверхности угля с водой и флотореагентами зависит от свойств углей. Поверхность частиц неоднородна. Согласно исследованиям, для углей Балахонской серии характерно содержание минеральных примесей, представленных глинистым веществом, кварцем, пиритом и карбонатами. Все они, в основном, связаны с органической массой, а значит выделение их в отходы затруднительно [14].

В каолините содержится 39,5 % Al_2O_3 и 46,5 % SiO_2, а в кварце около 100 % SiO_2. На основании полученных данных количество каолинита и кварца по образцам в минеральной части: 56,11 % и 32,84 % – проба № 1; 55,56 % и 31,64 % – проба № 2; 62,53 % и 28,36 % – проба № 3, т. е. преобладают глинистые породы. Размокший в воде глинистый сланец снижает флотируемость угля, так как он является источником образования гидрофильных коллоидов [15].

Для изучения химических свойств угольной поверхности использовали **спектроскопию ядерного магнитного резонанса**. Данные ЯМР-спектроскопии – в табл. 5 и на рис. 3.

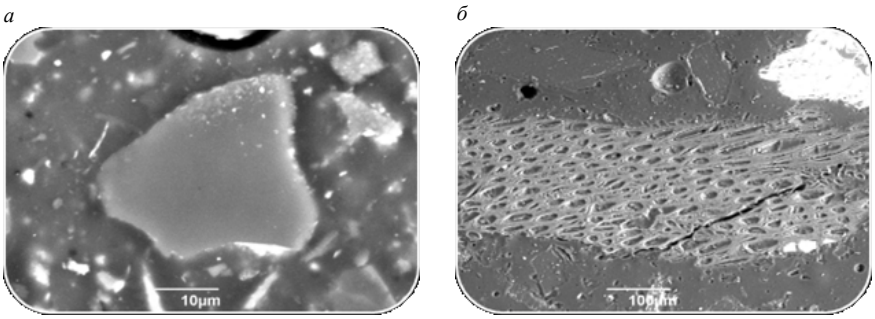

Рисунок 2. Электронные фотографии микрокомпонентов, полученные облучением тонко сфокусированным электронным пучком на СЭМ (сканирующем электронном микроскопе):
а – витринит; *б* – инертинит (поперечный срез)
Figure 2. Electronic photographs of micro components obtained by means of irradiation with finely focused electron beam using a scanning electron microscope:
а – vitrinite; *б* – interinite (cross section)

Исследование химических свойств угольной поверхности на наличие кислородосодержащих гидрофильных функциональных групп показывает отличие значений групп Ar – O (+2,8 % и +2,7 %) и COOH (+0,7 % и + 0,5 %) проб № 1 и 2 в сравнении с пробой № 3. Данные результаты соотносятся с результатами элементного состава органической массы (табл. 2), где содержание кислорода по первым двум образцам выше. В связи с тем, что ароматические фрагменты являются основным типом структурных единиц угля, отклонение по алифатическим структурам, вероятно, не оказывает определяющего влияния на общие поверхностные свойства. Показатель степени ароматичности f_a, рассчитанный из относительного содержания ароматических структур, по всем пробам одинаковый, что подтверждает единую стадию метаморфизма.

Выводы. Результаты исследования наглядно показывают, что угли, имеющие схожую природу происхождения, одной стадии метаморфизма, могут иметь отличные по ряду параметров показатели: гранулометрический состав, количество и морфологию микрокомпонентов по данным количественного петрографического анализа, а также содержание гидрофильных функциональных групп на поверхности углей.

Установлены следующие закономерности.

Гранулометрический состав исходного сырья важен для решения практических задач на исходном этапе переработки: проектирование, выбор методов и режимов обогащения, количества оборудования, расчет ожидаемых результатов по машинным классам, формирование сырьевой базы и шихты перед обогащением.

В совокупности с фракционным анализом позволяет спрогнозировать основные технико-экономические параметры результатов переработки. Различие в выходе мелких классов до 15 % не оказывает определяющего влияния на способность данного класса обогащаться методом флотации.

Таблица 5. Параметры фрагментарного состава образцов по данным ^{13}C ЯМР-спектров
Table 5. Parameters of the fragmentary composition of the samples according to the data of ^{13}C NMR spectra

Образец	Распределение атомов углерода по структурным группам, отн. %								f_a
	CH_3	CH_2	OCH_3	C-O-C	Ar-H	Ar-C	Ar-O	COOH	
Проба № 1	2,59	18,63	0,54	0,29	51,85	19,08	6,23	0,79	0,77
Проба № 2	2,55	18,62	0,70	0,45	51,85	19,06	6,17	0,61	0,77
Проба № 3	2,60	19,48	0,73	0,50	55,67	17,45	3,48	0,10	0,77

f_a – степень ароматичности, рассчитанная из относительного содержания ароматических структур.

Комплексом физико-химических методов показано, что степень окисленности до 200 ккал/кг не оказывает существенного влияния на способность угля к флотационному обогащению.

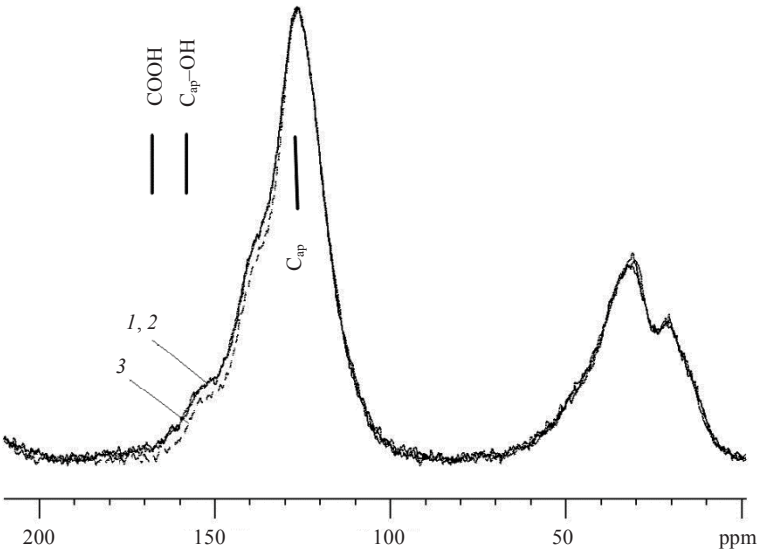

Рисунок 3. ^{13}C-ЯМР-спектры:
1 – проба № 1; *2* – проба № 2; *3* – проба № 3
Figure 3. ^{13}C-NMR-spectra:
1 – sample № 1; *2* – sample № 2; *3* – sample № 3

По результатам петрографического анализа имеются отличия в количественном содержании микрокомпонентов, а именно: образец с большим содержанием витринита и меньшим содержанием отощающих компонентов имеет низкий результат по флотируемости. В целом, содержание микрокомпонентов влияет на окончательный результат обогащения, поэтому необходимо сравнительное изучение физико-химических свойств отдельных микрокомпонентов и их неоднородности.

По данным ЯМР-спектроскопии выявлены отличия образцов в части наличия ароматических фрагментов, содержащих гетероатомы кислорода, что в совокупности с другими свойствами, влияющими на гидрофильность, оказывает влияние на флотируемость.

Все охарактеризованные генетические факторы, влияющие на эффективность переработки углей, изменчивы на площади угольных месторождений. Это подтверждает необходимость комплексного исследования петрографическими и углехимическими методами и установления зон и участков наиболее выраженного проявления конкретных параметров на площади месторождения. Изложенный в работе подход к исследованию качества исходного сырья имеет важное практическое значение и дает возможность для составления пластовых карт прогноза обогатимости углей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипенко Л. А. Методы оценки обогатимости углей // Уголь. 2018. № 6. С. 69–74.

2. Белов В. В., Бочков Ю. Н., Давыдов М. В. Техника и технология обогащения углей / под ред. В. А. Чантурия, А. Р. Молявко. М.: Наука, 1995. 622 с.

3. Промышленно-генетическая классификация углей СССР. Основы классификации / И. И. Аммосов [и др.]. М.: Наука, 1964. 310 с.

4. Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Юшина Т. И. Флотационное обогащение полезных ископаемых. М.: Горная книга, 2017. 837 с.

5. Клейн М. С., Вахонина Т. Е. Технология обогащения полезных ископаемых. Кемерово: УИП КузГТУ, 2017. 193 с.

6. Laskowski J. S. Coal flotation and fine coal utilization. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 368 p.

7. Семенова С. А., Патраков Ю. Ф. Зависимость смачиваемости водой поверхности ископаемых углей от их строения и свойств // Химия твердого топлива. 2017. № 3. С. 3–9.

8. Jena M. S., Biswal S. K., Rudramuniyappa M. V. Study on flotation characteristics of oxidized Indian high ash sub-bituminous coal // International Journal of Mineral Processing. 2008. Vol. 87. P. 42–50.

9. Mastalerz M., Bustin R. M. Variation in maceral chemistry within and between coals of varying rank: An electron microprobe and micro-Fourier transform infra-red investigation // Journal of Microscopy. 1993. Vol. 171. P. 153–166.

10. Заостровский А. Н., Грабовая Н. А., Федорова Н. И., Михайлова Е. С., Исмагилов З. Р. Оценка коксуемости углей по показателям петрографического состава // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26. № 6. С. 589–595.

11. Еремин Е. В., Арцер А. С., Броневец Т. М. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса. Кемерово: Притомское, 2001. 400 с.

12. Шпирт М. Я., Рубан В. А., Иткин Ю. В. Рациональное использование отходов углей. М.: Недра, 1990. 224 с.

13. Семенова С. А., Патраков Ю. Ф., Лырщиков С. Ю. Зависимость смачиваемости поверхности углей от петрографического состава // Химия твердого топлива. 2020. № 2. С. 12–21.

14. Травин А. Б., Сендерзон Э. М., Шорин В. П. Атлас Верхнепалеозойских углей. Новосибирск: Наука, 1966. 368 с.

15. Коробецкий И. А., Шпирт М. Я. Генезис и свойства минеральных компонентов углей. Новосибирск: Наука СО, 1988. 227 с.

Поступила в редакцию 27 июля 2021 года

Сведения об авторах:

Камоза Екатерина Сергеевна – аспирант Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН. E-mail: ms.kamoza@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-3181-8951

Михайлова Екатерина Сергеевна – кандидат химических наук, заместитель директора Института углехимии и химического материаловедения Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН. E-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

Исмагилов Зинфер Ришатович – академик РАН, профессор, научный руководитель Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН, главный научный сотрудник Института катализа Сибирского отделения РАН. E-mail: zinfer1@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-1520-9216

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-65-75

Studying the effect the physicochemical properties of fine size raw coal organic and mineral composition have on beneficiation efficiency

Ekaterina S. Kamoza[1], Ekaterina S. Mikhailova[1], Zinfer R. Ismagilov[1, 2]
[1] Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of RAS, Kemerovo, Russia.
[2] Institute of Catalysis, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia.

Abstract

Introduction. *This work presents the results of the research on the effect the petrographic characteristics, elemental and mineral composition have on the Kedrovsko-Krohalevskoe fine coal beneficiation efficiency. The data has been analyzed of raw coal physochemical properties at the stage of mining and dressing mill raw material base formation.*

Research objective *is to study thermal coal by physicochemical methods of analysis to identify the main parameters affecting the quality of beneficiation products. Based on the data obtained, the research aims to develop the method of assessing the indicators affecting the beneficiation process and further forecasting during the development of new areas and coal seams.*

Methods of research. *The structural features of raw KCN (coking low-caking low-metamorphosed) coal were determined by comparative analysis of three samples according to the following parameters: laboratory flotation results, general technical parameters, maceral composition, organic matter elemental composition, and ash mineral composition.*

Results. *It has been established that coals of a similar nature of origin and stage of metamorphism, can have different indicators in vaarious parameters: particle size, number and morphology of microcomponents according to quantitative petrographic analysis, as well as the presence of hydrophilic functional groups on the surface of coals.*

Conclusions. *The results of the studies made it possible to identify a number of dependencies that can be used in a preliminary assessment of the quality of raw coal sent to a coal processing enterprise.*

Keywords: *coal quality indicators; beneficiation; coal classification; petrographic composition; mineral composition.*

REFERENCES

1. Antipenko L. A. Methods of assessment of coal washability. *Ugol = Russian Coal Journal*. 2018; 6: 69–74. (In Russ.)
2. Belov V. V., Bochkov Iu. N., Davydov M. V. *Process and equipment for coal beneficiation*. Moscow: Nauka Publishing; 1995. (In Russ.)
3. Ammosov A. I. et al. (ed.). *Industrial and genetic coal classification in the USSR*. Moscow: Nauka Publishing; 1964. (In Russ.)
4. Bocharov V. A., Ignatkina V. A., Iushina T. I. *Flotation of minerals*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2017. (In Russ.)
5. Klein M. S., Vahonina T. E. *Process for mineral beneficiation*. Kemerovo: KuzSTU Publishing; 2017. (In Russ.)
6. Laskowski J. S. *Coal flotation and fine coal utilization*. Amsterdam: Elsevier Science; 2001. 368 p.
7. Semenova S. A., Patrakov Iu. F. Dependence of the water wettability of the surfaces of fossil coals on their structure and properties. *Khimiia tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*. 2017; 3: 3–9. (In Russ.)
8. Jena M. S., Biswal S. K., Rudramuniyappa M. V. Study on flotation characteristics of oxidized Indian high ash sub-bituminous coal. *International journal of mineral processing*. 2008; 87: 42–50.
9. Mastalerz M. and Bustin R. M. Variation in maceral chemistry within and between coals of varying rank: An electron microprobe and micro-Fourier transform infra-red investigation. *Journal of Microscopy*. 1993; 171: 153–166.
10. Zaostrovskii A. N., Grabovaia N. A., Fedorova N. I., Mikhailova E. S., Ismagilov Z. R. Assessment of coal cokeability according to petrographic composition. *Khimiia v interesakh ustoichivogo razvitiia = Chemistry for Sustainable Development*. 2018; 6: 589–595. (In Russ.)
11. Eremin E. V., Artser A. S., Bronevets T. M. *Petrology and chemical and technological parameters of Kuzbass coals*. Kemerovo: Pritomskoe Publishing; 2001. (In Russ.)
12. Shpirt M. Ia., Ruban V. A., Itkin Iu. V. *Efficient use of coal production and cleaning wastes*. Moscow: Nedra Publishing; 1990. (In Russ.)
13. Semenova S. A., Patrakov Iu. F., Lyrshchikov S. Iu. Dependence of coal surface wettability on the petrographic composition. *Khimiia tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*. 2020; 2: 12–21. (In Russ.)
14. Travin A. B., Senderzon E. M., Shorin V. P. *Atlas of Upper Paleozoic coals*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 1966. (In Russ.)
15. Korobetskii I. A., Shpirt M. Ia. *Genesis and properties of mineral components of coal*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 1988. (In Russ.)

Received 27 July 2021

Information about authors:

Ekaterina S. Kamoza – graduate student, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of RAS, Kemerovo, Russia. E-mail: ms.kamoza@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-3181-8951
Ekaterina S. Mikhailova – PhD (Chemical sciences), Deputy Director of the Institute of Coal Chemistry and Material Science, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of RAS, Kemerovo, Russia. E-mail: e_s_mihaylova@mail.ru
Zinfer R. Ismagilov – Academician of RAS, Professor, chief research officer of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of RAS, chief researcher of the Institute of Catalysis, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: zinfer1@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-1520-9216

Для цитирования: Камоза Е. С., Михайлова Е. С., Исмагилов З. Р. Исследование влияния физико-химических свойств органического и минерального состава рядовых углей мелких классов на эффективность обогащения // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 6. С. 65–75. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-65-75
For citation: Kamoza E. S., Mikhailova E. S., Ismagilov Z. R. Studying the effect the physicochemical properties of fine size raw coal organic and mineral composition have on beneficiation efficiency. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 6: 65–75 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-65-75