

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-41-47

УДК 662.667: 541.6

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТРАЦИТОВ КУЗБАССА

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ANTHRACITE OF KUZBASS

Федорова Наталья Ивановна¹

канд. хим. наук, e-mail: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

Natalia I. Fedorova¹, C.Sc. in Chemistry, leading researcher,

Малышева Валентина Юрьевна¹

ведущий инженер, e-mail: v23091@yandex.ru

Valentina Y. Malisheva, leading engineer,

Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2}

академик РАН, заведующий кафедрой, e-mail: Zinfer1@mail.ru

Zinfer R. Ismagilov^{1,2}

Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,

650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18

¹Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, 650000, Kemerovo, 18, pr. Sovietsky, Russian Federation

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация:

Актуальность работы определяется тем, что перспективы создания новых и интенсификации существующих процессов переработки твердых горючих ископаемых связывают с исследованиями их состава, свойств и реакционной способности.

Цель проведенного исследования посвящена комплексному исследованию физико-химических свойств антрацитов Кузнецкого бассейна.

В качестве объектов исследования использовались два образца антрацитовых углей, добываемых на угольных разрезах «Бунгурский» и «Красногорский».

Образцы антрацитов охарактеризованы с применением комплекса химических и физико-химических методов анализа (технический и элементный анализы, анализ состава золы, термогравиметрический анализ, ИК- и ¹³C ЯМР-спектроскопии).

Совокупность полученных аналитических данных показывает, что исследованные образцы обладают достаточно близкими значениями установленных параметров. Образцы характеризуются низкой зольностью, выходом летучих веществ и малым содержанием общей серы. В минеральной части антрацитов преобладают глинистые минералы типа каолинита и иллита.

Результатами ИК- и ¹³C ЯМР-спектроскопии выявлено, что в структуре исследованных образцов преобладают ароматические фрагменты, доля которых изменяется незначительно и ее величина составляет более 91%.

Термогравиметрическим анализом установлено, что образцы обладают достаточно высокой термостойкостью. Пик основного разложения широк (от 450 до 1200°C) и малоинтенсивен, максимальная скорость разложения достигается при 735°C.

Ключевые слова: антрацит, элементный состав, химический состав золы, ИК- и ЯМР-спектроскопия, термогравиметрический анализ

Информация о статье: поступило в редакцию 16.04.2021

Abstract:

The relevance of the work is determined by the fact that the prospects for creating new and intensifying existing processes for processing solid fossil fuels are associated with studies of their composition, properties and reactivity.

The purpose of this study is devoted to a comprehensive study of the physicochemical properties of anthracites in the Kuznetsk Basin.

As objects of research, we used two samples of anthracite coals mined at the Bungurskiy and Krasnogorskiy coal pits.

Anthracite samples were characterized using a complex of chemical and physicochemical methods of analysis (technical and elemental analyzes, analysis of ash composition, thermogravimetric analysis, IR and ^{13}C NMR spectroscopy).

The totality of the obtained analytical data shows that the studied samples have close values of the established parameters. The samples are characterized by low ash content, volatile content and low total sulfur content. The mineral part of anthracites is dominated by clay minerals such as kaolinite and illite.

The results of IR- and ^{13}C NMR- spectroscopy revealed that aromatic fragments, the proportion of which changes insignificantly and amounts to more than 91%, dominate the structure of the studied samples.

Thermogravimetric analysis established that the samples have a sufficiently high thermal stability. The peak of the main decomposition has a wide range (from 450 to 1200°C) and low intensity, the maximum decomposition rate is reached at 735° C.

Keywords: anthracite, elemental composition, chemical composition of ash, IR- and NMR- spectroscopy, thermogravimetric analysis

Article info: received April 16, 2021

В настоящее время твердые горючие ископаемые являются не только универсальным энергоносителем, но и важным источником получения многих видов химической продукции. Проблема выявления рациональных направлений переработки топливного сырья может быть решена путем комплексного изучения его физико-химических свойств [1-7].

Цель проведенного исследования – охарактеризовать антрациты по результатам анализов различными химическими и физико-химическими методами.

В качестве объектов использовались два образца антрацитов, взятых из коллекции углей, формируемой в Институте углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН. Образцы были отобраны из товарных проб антрацитов, добываемых на разрезах «Бунгурский» (№1) и «Красногорский» (№2), расположенных в юго-западной части Кузнецкого бассейна.

Для аналитических исследований использовалась фракция антрацитов плотностью менее 1,5 г/см³, полученная посредством расслоения в смеси четыреххлористого углерода и бензола согласно ГОСТ 1186–2014, Приложение А.

Технический анализ углей проводили стандартными методами. Общую серу определяли по методу Эшка согласно ГОСТ 8606–2015 (ISO 334:2013). Элементный состав органической массы исследованных образцов определяли с помощью элементного анализатора Thermo Flash 2000 (Thermo Fisher Scientific, Великобритания), результаты определений пересчитывали на сухое беззольное состояние топлива (*daf*).

Золу для анализа получали медленным озолением аналитических проб углей в муфельной печи при температуре 815°C согласно ГОСТ 11022-95. Химический состав зольных остатков определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии на спектрометре с индукционно-связанной плазмой iCAP 6500 Duo LA фирмы «Thermo Scientific».

^{13}C ЯМР-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 – 1500 мкс, накопление – 4096 сканов, задержка между сканами – 2 с, частота вращения образца – 5 кГц. Для получения количественных данных проводилось моделирование спектров при помощи программы *Dmfit*. На спектрах выделялись диапазоны, соответствующие резонансному поглощению следующих групп углеродных атомов, м.д.: 187-171 – атомы углерода карбоксильных групп и их производных (COO-); 171-148 – атомы углерода ароматических систем, связанные с атомом кислорода ($\text{C}_{\text{ар}}\text{O}$); 148-93 – атомы углерода ароматических систем с замещенным и незамещенным атомом водорода ($\text{C}_{\text{ар}} + \text{CH}_{\text{ар}}$); 67-51 – атомы углерода метоксильных групп (OCH_3); 51-0 – атомы углерода алкильных фрагментов ($\text{C}_{\text{алк}}$). По

результатам моделирования рассчитывали степень ароматичности (f_a) по соотношению $f_a = (C_{ар} + C_{Нар} + C_{арО}) / 100$ [8].

ИК-спектры регистрировали на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм ФТ-08» (ООО «Люмекс»). Смесь образца массой 5 мг с KBr массой 250 мг обрабатывалась в вибрационной мельнице в течение 3 минут; далее готовили таблетки прессованием при давлении 8 МПа. Спектры регистрировались в диапазоне 500-4000 $см^{-1}$, с 256 сканами и разрешением 4 $см^{-1}$. Коррекция базовой линии проводилась в программе *СпектраЛюм*. Интерпретацию и расшифровку спектров проводили с помощью методов, изложенных в работах [7,9-11]. Для проведения сопоставительного анализа оптическую плотность максимумов поглощения нормировали по оптической плотности полосы в области 1445 $см^{-1}$.

Термический анализ проводили на термоанализаторе фирмы *Netzsch STA 409* в следующих условиях: масса образца 40 мг; тигель платиново-иридиевый; нагрев до 1200°C со скоростью 10°/мин в инертной атмосфере. В ходе анализа регистрировали потерю массы (ТГ), скорость потери массы (ДТГ). Температурный интервал деструкции органической массы образцов на кривой ТГ устанавливали методом касательных с помощью программного обеспечения *Netzsch Proteus*. Потерю массы образца при заданной температуре (Δm) определяли согласно кривой ТГ, на основании ДТГ кривой устанавливали температуры (T_{max}), соответствующие максимальным скоростям потери массы.

Результаты технического анализа и элементный состав образцов антрацитов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика исследованных образцов

Table 1. Characteristics of the samples studied

Код образца	Технический анализ, %				Элементный состав, % на daf			Атомное отношение		Q_d^{daf} , МДж/к г
	W^a	A^d	V^{daf}	S_i^d	С	Н	(N+S+O)	Н/С	О/С	
№1	0,1	4,0	7,7	0,3	95,4	2,8	1,8	0,35	0,01	35,67
№2	0,6	4,0	7,9	0,2	95,3	2,1	2,6	0,26	0,02	34,67

Таблица 2. Химический анализ золы исследованных образцов антрацитов

Table 2. Chemical analysis of the ash of the studied samples of anthracite

Код образца	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
№1	60,6	32,6	0,3	0,2	0,5	1,0	0,1	3,2	1,5
№2	68,7	23,6	1,8	1,3	0,4	0,8	0,1	1,8	1,5

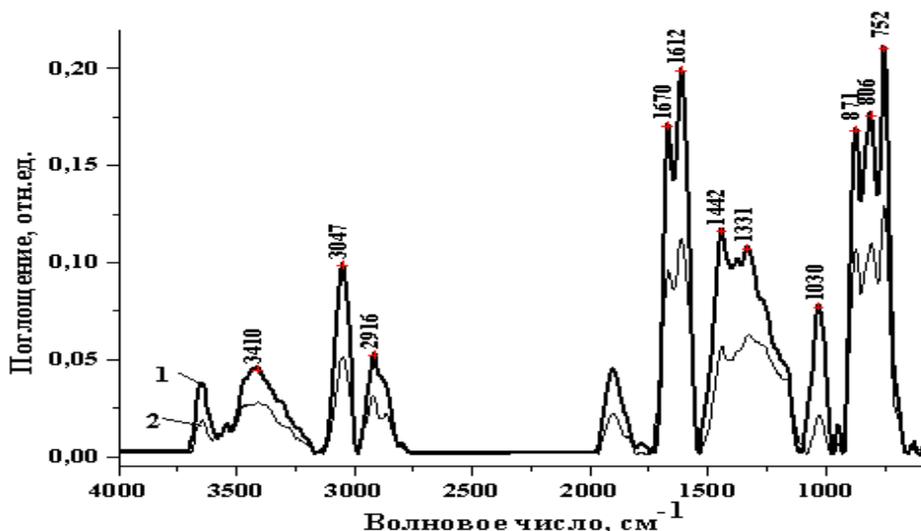
Из представленных результатов видно, что исследованные образцы обладают близкими технологическими характеристиками. Они характеризуются низкой зольностью A^d порядка 4,0%, выходом летучих веществ V^{daf} менее 8% и малым содержанием общей серы S_i^d (до 0,3%). По содержанию углерода в органической массе образцы относятся к группе высокометаморфизованных (C^{daf} более 95%). По данным элементного анализа наибольшим содержанием кислорода и атомным отношением О/С обладает образец №2.

Химический состав проб золы исследованных антрацитов приведен в таблице 2. Видно, что зольные остатки содержат все основные соединения золообразующих элементов. В составе золы обоих образцов преобладают диоксиды кремния и алюминия.

По содержанию оксида алюминия в золе образец №2 является среднеглиноземным (содержание Al₂O₃ не превышает 28%), а №1 – высокоглиноземным (содержание Al₂O₃ > 28%) [12]. В золе исследуемых топлив отношение SiO₂/Al₂O₃ имеют величину 1,86 и 2,91 соответственно, что указывает на наличие в них глинистых минералов типа каолинита и иллита. Следует отметить несколько повышенное содержание K₂O в золах исследованных образцов. Вероятно, это связано с тем, что ионы калия сильно адсорбируются глинистыми минералами. Со временем калий переходит в необменное состояние и занимает определенное место в структуре этих минералов, в частности, в иллите [13].

Таблица 3. Параметры фрагментарного состава образцов антрацитов по данным ^{13}C ЯМР-спектров
Table 3. Partial composition parameters of anthracite samples according to ^{13}C NMR spectra

Код образца	$R_{o,r}, \%$	Распределение атомов углерода по структурным группам, отн. %							
		CH_3	CH_2	CH_3O	$\text{C}_{\text{алк}}\text{O}$	$\text{C}_{\text{ар}}\text{H} + \text{C}_{\text{ар}}$	$\text{C}_{\text{ар}}\text{O}$	COOH	f_a
		Диапазон резонансного поглощения, м.д.							
		0-25	25-51	51-67	67-93	93-148	148-171	171-187	
№1	2,58	2,22	3,27	1,10	0,17	92,33	0,38	0,53	0,93
№2	2,82	2,58	3,21	0,96	1,09	90,36	0,61	1,09	0,91

Рис. 1. ИК-спектры исследованных образцов антрацитов
Fig 1. IR spectra of the studied anthracite samples

Данные ИК- и ^{13}C ЯМР-спектроскопии могут быть полезны для изучения особенностей молекулярного строения антрацитов. Вид полученных спектров соответствует многочисленным ^{13}C ЯМР-спектрам различных горючих ископаемых и в общей сложности представляют собой две характерные области, относящиеся к ароматическому и алифатическому углероду, а также набором кислородсодержащих функциональных групп в виде карбоксильных, фенольных, спиртовых и метоксильных [14-16].

Количественный анализ спектров ЯМР ^{13}C (таблица 3) свидетельствует о том, что в составе их органического вещества преобладают ароматические фрагменты, доля которых, характеризуемая показателем степени ароматичности f_a , составляет величину 93 и 91% соответственно.

На долю алифатических структур (область 0-51 м.д.) приходится соответственно 5,49 и 5,79%. Наибольшее количество различных кислородсодержащих фрагментов определено в образце №2, что согласуется с его более высоким показателем атомного отношения O/C (Таблица 1).

Исследование образцов антрацитов методом ИК-спектроскопии показало присутствие одинакового набора характеристических полос поглощения в их спектрах (рисунок 1): кислородсодержащие группы OH- (полоса 3410 см^{-1}) и C-O (полосы в области $1260-1050\text{ см}^{-1}$); C-H и C=C- ароматические (полосы $3047, 1670, 900-700\text{ см}^{-1}$); алифатические CH_2 и CH_3 (полосы $2916, 2850, 1442, 1380\text{ см}^{-1}$).

В структуре образцов наиболее ярко выражена ароматическая составляющая, чему свидетельствуют интенсивные пики в области 3040 см^{-1} и $700-900\text{ см}^{-1}$ (таблица 4). Полосы поглощения алифатических структур в области $2850-3000\text{ см}^{-1}$ значимо менее интенсивны. Немного большей интенсивностью полос поглощения кислородсодержащих структур обладает в образце №2 (таблица 4, полосы поглощения при 3410 и 1670 см^{-1}).

Таблица 4. Нормированная оптическая плотность полос в ИК-спектрах образцов антрацитов
 Table 4. Normalized optical density of bands in the IR spectra of anthracite samples

Код образца	Положение полосы, см ⁻¹								
	3410	3047	2916	2850	1670	1612	1380	1260	Σ(700-900)
№1	1,75	1,24	0,68	0,43	0,17	1,46	0,76	0,51	9,21
№3	0,62	1,14	0,71	0,48	0,67	2,05	1,24	1,33	9,05

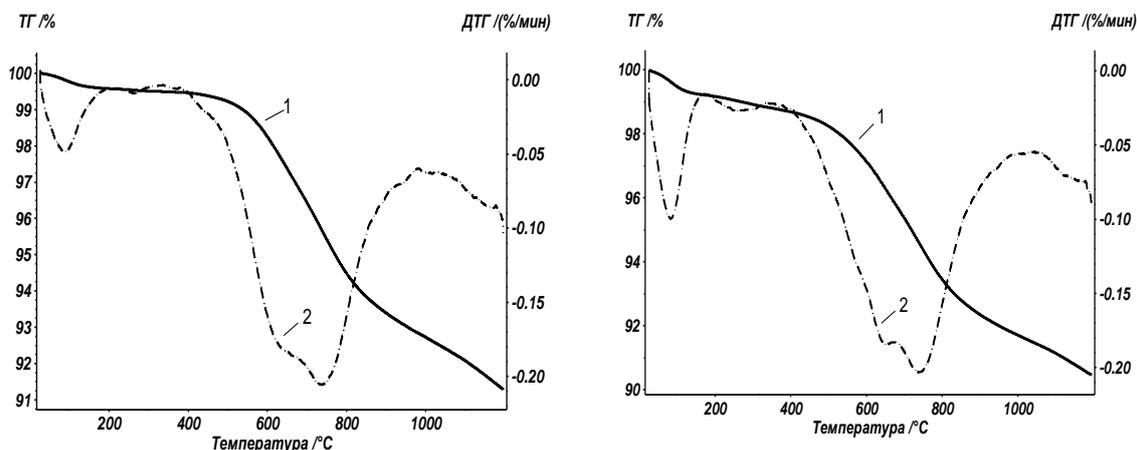


Рис. 2. Термогравиметрические кривые потери массы ТГ (1) и скорости потери массы ДТГ (2) образцов антрацитов: а – образец №1; б – образец №2.

Fig. 2. Thermogravimetric curves of TG mass loss (1) and DTG mass loss rate (2) for anthracite samples: a - sample 1; b - sample 2.

Таблица 5. Результаты термогравиметрического анализа образцов антрацитов
 Table 5. Results of thermogravimetric analysis of anthracite samples

Код образца	T _{1 max} , °C	V _{1 max} , %/мин	T _{2 max} , °C	V _{2 max} , %/мин	Δm, %, при температуре, °C				
					20-200	200-300	300-450	450-1000	200-1200
					№1	650	0,18	732	0,20
№3	648	0,18	735	0,20	0,8	0,3	0,4	6,8	8,7

Соотношение оптических плотностей при 2920 и 3040 см⁻¹ (параметр D_{3040}/D_{2920}) часто используется как характеристика степени ароматичности углей [7]. Данный параметр для образца №1 равен 1,86, а для образца №2 – 1,57. Это указывает на большую ароматичность органической массы образца №1, что согласуется с результатами ЯМР-спектроскопии (таблица 3).

Для изучения особенностей термического разложения образцов антрацитов был проведен термогравиметрический анализ, результаты которого приведены на рисунке 2 и таблице 5. Для всех образцов термическое разложение характеризуется несколькими стадиями, что определяется наличием нескольких максимумов на кривой скорости убыли массы ДТГ.

Первый пик, соответствующий выделению влаги, на кривой ДТГ занимает довольно широкую температурную область (до 200°C). При этом в интервале температур 200-300°C появляется дополнительный максимум при 260°C, который, как указывают авторы в работе [17], может быть обусловлен выделением межслоевой молекулярной воды из глинистых минералов типа гидрослюд и монтмориллонита, либо может быть связан с выделением особо прочно связанных в микропорах углеродистого вещества сорбированных молекул воды и газов, образовавшихся в ходе углефикации и преобразования органического вещества. Потеря массы образцами в данном температурном интервале достаточно мала и составляет величину 0,1 и 0,3% соответственно (таблица 5). Относительно малые потери массы образцами на начальном этапе разложения (до 450°C) свидетельствует об их достаточно высокой термостойкости.

Основная потеря массы образцами антрацитов происходит в интервале температур 450-1200°C, обусловленная деструкцией углерод-углеродных связей с выделением летучих продуктов и формированием коксового остатка. На кривой ДТГ можно выделить два температурных максимума при 650 и 732°C. При данных температурах скорость разложения мала и не превышает величины 0,2%/мин (таблица 5).

Из вышеизложенного можно заключить, что термические параметры разложения вещества изученных антрацитов следующие: начальный этап деструкции протекает в интервале 200-450°C, который характеризуется весьма малой убылью массы; интервал основного разложения 450-1000°C – широкий и малоинтенсивный с выходом летучих веществ около 80% от общего выхода в интервале 200-1200°C; заключительный этап деструкции (до 1200°C), в котором скорость потери массы не имеет выраженных максимумов, относительный выход летучих веществ достигает величины до 20% от их общего выхода в интервале 200-1200°C.

Таким образом, с использованием комплекса химических и физико-химических методов анализа охарактеризованы два образца антрацитов, отобранных на угледобывающих предприятиях Кузбасса. Совокупность полученных аналитических данных показывает, что исследованные образцы обладают достаточно близкими значениями выявленных параметров. Образцы характеризуются низкой зольностью, выходом летучих веществ и малым содержанием общей серы. Данные элементного анализа указывают на высокую степень их углефикации. В минеральной части антрацитов преобладают глинистые минералы типа каолинита и иллита.

Результатами ИК– и ¹³C ЯМР–спектроскопии выявлено, что в структуре исследованных образцов преобладают ароматические фрагменты, доля которых изменяется незначительно и составляет величину более 91%. Доля алифатических структур мала и не превышает величины 5,8%. В составе всех образцов преобладает кислород в алифатически связанной форме.

Анализ термогравиметрических данных показал, что образцы обладают достаточно высокой термостойкостью. Пик основного разложения широк (до 1000°C) и малоинтенсивен, максимальная скорость разложения достигается при 735°C.

Полученные данные важны и могут рассматриваться как справочные данные, которые можно использовать для обоснования правильности марочного отнесения углей и для научно обоснованного подбора условий их переработки.

Работа выполнена с использованием оборудования Кемеровского центра коллективного пользования ФИЦ УУХ СО РАН. Авторы выражают благодарность сотрудникам ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН за помощь в выполнении и обсуждении результатов анализов: В.А. Зубакиной (технический анализ), О.С. Ефимовой (элементный состав), Р. П. Колмыкову (химический анализ зольных остатков), С.Ю. Лыршикову (ЯМР–спектроскопия), Д.М. Хицовой (термогравиметрический анализ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гюльмалиев, А.М. Классификация горючих ископаемых по структурно-химическим показателям и основные пути использования ископаемых углей / А.М. Гюльмалиев, Г.С. Головин, С.Г. Гагарин. – М.: НТК «Трек», 2007. – 152 с.
2. Артемьев, В.Б. Петрография углей и их эффективное использование / В.Б. Артемьев, И.В. Еремин, С.Г. Гагарин. – М.: Недра коммюникейшенс ЛТД, 2000. – 334 с.
3. Богородская, Л.И. Кероген: Методы изучения, геохимическая интерпретация / Л.И. Богородская, А.Э. Конторович, А.И. Ларичев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал Гео, 2005. – 254 с.
4. Природный потенциал ископаемых углей. Рациональное использование их органического вещества. Часть 2. / М.И. Щадов [и др.]. – М.: «Недра коммюникейшенс ЛТД», 2000. – 413 с.
5. Федорова, Н.И. Физико-химические свойства витринитовых концентратов углей Кузнецкого бассейна / Н.И. Федорова, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // Вестник КузГТУ, 2017. – № 4. – С. 164-169.
6. Физико-химический анализ керогенсодержащей породы (горючего сланца) / А.В. Тараканова [и др.] // Вестник моск. ун-та. Сер.2. Химия, 2016. – Т.57. – №5. – С. 356-363.
7. Русьянова, Н.Д. Углехимия. – М.: Наука, 2003. – 316 с.
8. Modelling one and two-dimensional solid-state NMR spectra / Massiot D. [et al.] // Magn. Reson. Chemistry, 2002. – Vol. 40. – P. 70-76.
9. Шакс, И.А. Инфракрасные спектры ископаемого органического вещества / И.А. Шакс, Е.М. Файзуллина.

– Л.: Недра, 1974. – 131 с.

10. Купцов, А.Х. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров / А.Х. Купцов, Г.Н. Жижин. – М.: Техносфера, 2013. – 696 с.

11. Спектры поглощения каменных углей различной степени углефикации / С. Мунхцэцэг [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии, 2007. – Т. 74. – №3. – С. 304-309.

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

13. Браунлоу, А.Х. Геохимия. – М.: Недра, 1984. – 463 с.

14. Федорова, Н.И. ЯМР-спектроскопия каменных углей Кузбасса / Н.И. Федорова, С.Ю. Лыршиков, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития, 2016. – Т.24. – №3. – С. 393-397.

15. Бушнев, Д.А. Результаты ¹³C ЯМР- и ИК-спектроскопии керогена Верхнедевонских доманикитов Тимано-Печорского бассейна / Д.А. Бушнев, Н.С. Бурдельная, М.В. Мокеев, // Геохимия, 2019. – Т.64. – С. 1146-1157.

16. Dianshi, Ding Influence of carbon type on carbon isotopic composition of coal from the perspective of solid-state ¹³C NMR / Dianshi Ding, Guijian Liua, Biao Fu // Fuel, 2019. – Vol. 245. – P. 174-180.

17. Иванова, В.П. Термический анализ минералов и горных пород / В.П. Иванова, Б.К. Касатов, Т.Н. Красавина, Е.Л. Розина. – Л.: Недра, 1974. – 309 с.

REFERENCES

1. Gjul'maliev, A.M. Klassifikacija gorjuchih iskopaemyh po strukturno-himicheskim pokazateljam i osnovnye puti ispol'zovanija iskopaemyh uglej / A.M. Gjul'maliev, G.S. Golovin, S.G. Gagarin. – М.: NTK «Trek», 2007. – 152 s.

2. Artem'ev, V.B. Petrografija uglej i ih jeffektivnoe ispol'zovanie / V.B. Artem'ev, I.V. Eremin, S.G. Gagarin. – М.: Nedra kommjunikejshens LTD, 2000. – 334 s.

3. Bogorodskaja, L.I. Kerogen: Metody izuchenija, geohimicheskaja interpretacija / L.I. Bogorodskaja, A.Je. Kontorovich, A.I. Larichev. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial Geo, 2005. – 254 s.

4. Prirodnij potencial iskopaemyh uglej. Racional'noe ispol'zovanie ih organicheskogo veshhestva. Chast' 2. / M.I. Shhadov [i dr.]. – М.: «Nedra kommjunikejshens LTD», 2000. – 413 s.

5. Fedorova, N.I. Fiziko-himicheskie svojstva vitrinitovyh koncentratov uglej Kuzneckogo bassejna / N.I. Fedorova, E.S. Mihajlova, Z.R. Ismagilov // Vestnik KuzGTU, 2017. – № 4. – S. 164-169.

6. Fiziko-himicheskij analiz kerogensoderzhashhej porody (gorjuchego slanca) / A.V. Tarakanova [i dr.] // Vestnik mosk. un-ta. Ser.2. Himija, 2016. – Т.57. – №5. – S. 356-363.

7. Rus'janova, N.D. Uglehimija. – М.: Nauka, 2003. – 316 s.

8. Modelling one and two-dimensional solid-state NMR spectra / Massiot D. [et al.] // Magn. Reson. Chemistry, 2002. – Vol. 40. – P. 70-76.

9. Shaks, I.A. Infrakrasnye spektry iskopaemogo organicheskogo veshhestva / I.A. Shaks, E.M. Fajzullina. – Л.: Nedra, 1974. – 131 s.

10. Kupcov, A.H. Fur'e-KR i Fur'e-ИК спектры полимеров / А.Н. Купцов, Г.Н. Жижин. – М.: Техносфера, 2013. – 696 с.

11. Спектры поглощения каменных углей различной степени углефикации / С. Мунхцэцэг [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии, 2007. – Т. 74. – №3. – С. 304-309.

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

13. Браунлоу, А.Х. Геохимия. – М.: Недра, 1984. – 463 с.

14. Федорова, Н.И. ЯМР-спектроскопия каменных углей Кузбасса / Н.И. Федорова, С.Ю. Лыршиков, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития, 2016. – Т.24. – №3. – С. 393-397.

15. Bushnev, D.A. Rezul'taty ¹³S JaMR- i ИК-спектроскопии керогена Верхнедевонских доманикитов Тимано-Печорского бассейна / Д.А. Bushnev, N.S. Burdel'naja, M.V. Mokeev, // Геохимия, 2019. – Т.64. – С. 1146-1157.

16. Dianshi, Ding Influence of carbon type on carbon isotopic composition of coal from the perspective of solid-state ¹³C NMR / Dianshi Ding, Guijian Liua, Biao Fu // Fuel, 2019. – Vol. 245. – P. 174-180.

17. Ivanova, V.P. Termicheskij analiz mineralov i gornyh porod / V.P. Ivanova, B.K. Kasatov, T.N. Krasavina, E.L. Rozinova. – Л.: Nedra, 1974. – 309 с.

Библиографическое описание статьи

Федорова Н.И., Малышева В.Ю., Исмагилов З.Р. Физико-химические свойства антрацитов Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (145). – С. 41-47.

Reference to article

Fedorova N.I., Malisheva V.Y., Ismagilov Z.R. Physico-chemical properties of anthracite of Kuzbass. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.3 (145), pp. 41-47.