

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-2-62-67

УДК 662.741.3.022

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРАЦИТА

PETROGRAPHIC CHARACTERISTIC OF ANTHRACITE

Федорова Наталья Ивановна¹

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

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

Грабовая Наталья Анатольевна¹

ведущий инженер, e-mail: ngrabovaia@mail.ru

Natalia A. Grabovaya¹, Senior Engineer

Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2}, академик РАН, профессор,

директор Института¹, заведующий кафедрой², e-mail: zinfer1@mail.ru

Zinfer R. Ismagilov^{1,2},

Academician of RAS, Professor, Director of Institute, Head of the Department

¹Институт углехимии и химического материаловедения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН» (ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН); Россия, 650000, г. Кемерово, пр-т Советский, 18

¹Institute of Coal Chemistry and Materials Science of the Federal Research Centre of Coal and Chemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Science; Russia, 650000, Kemerovo, Soviet Avenue, 18

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 исследования определяется прежде всего тем, что для прогноза технологических свойств и выбора основных направлений промышленного использования твердых топлив большое значение имеют данные о вещественно-петрографическом их составе, так как мацеральный состав угольного сырья является одним из параметров классификаций и кодификаций углей согласно ГОСТ 25543–2013.

Цель проведенного исследования – определить петрографический состав двух образцов высокометаморфизованных углей.

В качестве объектов исследования использовались два образца антрацитовых углей, добываемых на угольных разрезах «Бунгурский» и «Красногорский», которые расположены в юго-западной части Кузнецкого бассейна. Исследованные образцы охарактеризованы техническим и элементным методами анализов. Установлено, что они обладают низкой зольностью (4,0%), выходом летучих веществ менее 8% и сравнительно малым содержанием общей серы (до 0,3%).

По показателям отражения витринита определена степень метаморфизма образцов. По ГОСТ 21489 – 76 оба образца можно отнести к VII – VIII стадиям антрацитовой группы, а по ГОСТ 25543 – 2013 – к группам IA, подгруппам IAФ.

При визуальном анализе анилифов образцов антрацитов установлено, что в их петрографическом составе преобладают микрокомпоненты группы инертинита. Эта группа (65 – 69% органического вещества) состоит главным образом из семифузинита и склеротинита. Витринита в антрацитах содержится 24-26% и он представлен в основном коллинитом, который в виде гомогенной массы цементирует фюзенизированные микрокомпоненты.

Ключевые слова: антрацит, петрографический анализ, показатель отражения витринита, мацералы угля, инертинит.

Abstract:

The relevance of the study is determined primarily by the fact that for predicting technological properties and choosing the main directions of industrial use of solid fuels, data on their material and petrographic composition are of great importance, since the maceral composition of coal raw materials is one of the parameters of the classifications and codifications of coals according to GOST 25543-2013.

The purpose of this study is to determine the petrographic composition of two samples of highly metamorphosed coals.

As objects of research, we used two samples of anthracite coals mined at the Bungurskiy and Krasnogorskiy coal pits, which are located in the southwestern part of the Kuznetsk Basin. The investigated samples were characterized by technical and elemental analysis methods. It was found that they have a low ash content (4.0%), an output of volatile substances of less than 8% and a relatively low content of total sulfur (up to 0.3%).

The indicators of vitrinite reflection determined the degree of metamorphism of the samples. According to GOST 21489 - 76, both samples can be attributed to the VII - VIII stages of the anthracite group, and according to GOST 25543 - 2013 - to groups 1A, subgroups 1AF.

A visual analysis of polished sections of anthracite samples revealed that their petrographic composition is dominated by microcomponents of the inertinite group. This group (65 - 69% organic matter) consists mainly of semifusinite and sclerotinitis. Vitrinite in anthracites contains 24-26% and is mainly represented by collinite, which cements fusinized microcomponents in the form of a homogeneous mass.

Key words: anthracite, petrographic analysis, vitrinite reflection index, coal macerals, inertinite.

К антрацитам относятся угли наиболее высоких стадий метаморфизма с показателем отражения витринита $R_{o,r}$ более 2,59%. При выходе летучих веществ V^{daf} менее 8% к антрацитам относятся также угли с показателем отражения витринита $R_{o,r}$ от 2,20 до 2,59 (согласно ГОСТ 25543–2013 классы 22-25) [1,2].

Антрацит – уголь, имеющий черную окраску, нередко с сероватым оттенком, излом раковистый, неровный. Характеризуется сильным металлическим блеском, не спекается и имеет хорошую электропроводимость.

Российская Федерация по количеству ресурсов антрацитов занимает ведущее место в мире. Балансовые запасы и прогнозные ресурсы сосредоточены преимущественно (до 97%) в трех угольных бассейнах: Донецком (в пределах Ростовской области) – 15,7 млрд т (46%), Кузнецком – 11 млрд т (33%) и Горловском – 6,0 млрд т (18%) [1,3]. В 2019 году Россия экспортировала 24,45 млн тонн антрацита из 38,1 млн тонн всего мирового экспорта. Основными потребителями российского антрацита выступают Китай, Индия, Южная Корея, Вьетнам, Украина, Япония и Германия.

Использование антрацитов чрезвычайно разнообразно, прежде всего, как высококалорийное антрацитовое топливо, а также в виде технологического сырья в различных отраслях промышленности. Основные направления использования антрацитов в зависимости от их технологических свойств рекомендуются в ГОСТ 25543-2013. Антрацит и продукты его термической обработки используются при производстве разнообразных углеродных материалов, например, углеграфитовых катодных блоков, электродов для производства алюминия, ферросплавов и кремния,

графитированных электродов для электросталеплавильных печей, футеровочных материалов, используемых при производстве кислот и др. [2,3]. Не менее важное направление использования – производство фильтрантов, сорбентов, углеродных молекулярных сит [3-7].

Разработка научных основ для определения пригодности антрацитов для производства продукции различного назначения должна базироваться на глубоком и всестороннем изучении их состава, физико-химических и технологических свойств [8].

В данной работе приведены результаты исследования петрографического состава антрацитов Кузнецкого бассейна.

В качестве объектов использовались два образца антрацитовых углей, взятые 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), расположенные в юго-западной части Кузнецкого бассейна.

Образцы антрацитов в исходном состоянии плотные, цвет черный, обладают полуметаллическим блеском, на фарфоровой пластине оставляют черно-бархатистую черту.

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*).

Исходные образцы антрацитов имели зольность более 12%. Для корректного проведения

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/кг
	W^a	A^d	V^{daf}	S_t^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. Характеристика петрографического состава исследованных образцов

Table 2. Characteristics of the petrographic composition of the samples studied

Код образца	Петрографический состав, %				Показатель отражения витринита, %			
	V_l	S_v	I	$\sum OK$	$R_{o,max}$	$R_{o,min}$	$R_{o,r}$	A_R
№1	24	7	69	74	2,90	2,25	2,58	31,55
№2	26	9	65	71	3,20	2,45	2,82	33,18

петрографического анализа образцы были обогащены в смеси четыреххлористого углерода и бензола согласно ГОСТ 1186–2014, Приложение А. Для аналитических исследований использовалась фракция плотностью менее 1.5 г/см³.

Петрографический и рефлектограммный анализ осуществляли по ГОСТ 9414.1–94, ГОСТ Р 55662–2013, ГОСТ Р 55663–2013 и ГОСТ Р 12113–94. Данные стандарты распространяется на угли бурые, каменные и антрациты (угли низкой, средней и высокой стадий метаморфизма).

Петрографический анализ выполняли на автоматизированном комплексе оценки марочного состава углей системы «SIAMS-620» (Россия) в среде масляной иммерсии. Порцию воздушно-сухой пробы, измельченной по ГОСТ Р 55663-2013, смешивали со связующим веществом (шеллаком), одну сторону которого шлифовали и полировали на шлифовально-полировальном станке до получения гладкой поверхности. Мацералы идентифицировали в иммерсионной среде по их показателю отражения, цвету, морфологии, высоте микрорельефа, структуре, степени её сохранности, а также по размерам [9-13]. Подсчет микрокомпонентов производился вручную при увеличении в отраженном свете в 300 раз, их количественное соотношение определялось методом подсчета точек. Результаты петрографического исследования приведены на «чистый уголь», без учета минеральных веществ.

Далее производилось определение максимального ($R_{o,max}$, %) и минимального ($R_{o,min}$, %) показателей отражения витринита. Согласно ГОСТ 12113–94 расчет произвольного показателя витринита ($R_{o,r}$) проводился по формуле:

$$R_{o,r} = 1/2 (R_{o,max} + R_{o,min}).$$

Показатель оптическую анизотропии (A_R , %) рассчитывали по формуле, предложенной авторами в работе [14,15]:

$$A_R = 125 (R_{o,max} + R_{o,min}) / R_{o,r}.$$

Характеристика исследованных образцов приведена в таблице 1.

Образцы характеризуются низкой зольностью

(4,0%), выходом летучих веществ менее 8%, высокой теплотворной способностью (более 34 МДж/кг) и сравнительно малым содержанием общей серы (до 0,3%). Данные элементного анализа указывают на высокую степень углефикации изучаемого угольного материала: содержание углерода на горючую массу более 95%, водорода 1,8 и 2,6 % соответственно.

Характеристика петрографического состава исследованных образцов приведена в таблице 2.

Видно, что у обоих образцов наблюдаются близкие значения показателя отражения витринита в масле ($R_{o,r}$), что позволяет говорить о равенстве степени метаморфизма их витринитовой составляющей. По ГОСТ 21489 – 76 оба образца можно отнести к VII – VIII стадиям антрацитовой группы, а по ГОСТ 25543 – 2013 – к группам 1А, подгруппам 1АФ.

Приведенные данные также показывают, что образцы имеют довольно постоянный петрографический состав и мало отличаются между собой по содержанию основных групп микрокомпонентов (витринита, семивитринита, инертинита). В составе образцов преобладают компоненты группы инертинита (I), содержание которых составляет величину 74 и 71% соответственно. Следует отметить, что доля микрокомпонентов групп витринита (V_l) примерно в 3 раза меньше инертинита. Семивитринита (S_v) в образцах определено менее 9%.

Группа мацералов витринита представлена коллинитом и реже – теллинитом. Коллинит наблюдается в виде гомогенной массы, цементирующей фюзенизированные компоненты, цвет преимущественно светло-серый (рис. а, б).

Группа мацералов инертинита состоит в основном из семифюзинита и склеротинита, фюзинит и макринит фиксируются в образцах реже и в меньших количествах. Фюзинит имеет клеточную структуру различной степени сохранности, достаточно выраженный рельеф и цвет от желтовато-белого до желтого (рис. с). Макринит встречается в виде отдельных

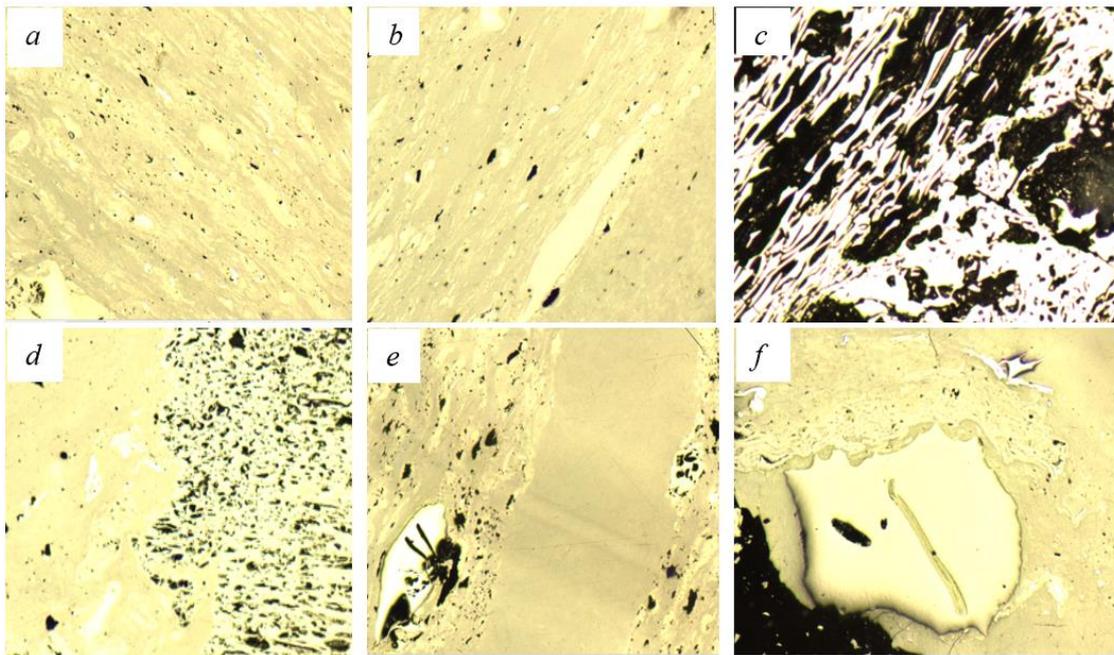


Рис. 1. Микрофотографии поверхности шлифов (отраженный свет, масляная иммерсия, ув.300) исследованных образцов антрацитовых углей с различными петрографическими мацералами: а – образец 1 (переслаивание коллинита и семифюзинита); б – образец 2 (переслаивание коллинита и семифюзинита); с – образец 2 (фюзинит с клеточной структурой разной степени сохранности); д – образец 2 (фюзинит, семифюзинит и макринит); е – образец 1 (семифюзинит, склеротинит с наличием бороздок, коллинит); ф – образец 2 (склеротинит). Обозначение образцов см. таблица 1.

Fig. 1. Micrographs of the surface of polished sections (reflected light, oil immersion, magnification 300) of the studied samples of anthracite coals with various petrographic macerals: a - sample 1 (interlayering of collinite and semifusinite); b - sample 2 (interlayering of collinite and semifusinite); c - sample 2 (fusinite with a cellular structure of varying degrees of preservation); d - sample 2 (fusinite, semifusinite and macrinite); e - sample 1 (semifusinite, sclerotinitis with grooves, collinitis); f - sample 2 (sclerotinitis). For designation of samples, see table 1.

бесструктурных тел преимущественно белого цвета (рис. d). Семифюзинит имеет мелкоклеточную структуру с плохо выраженными границами (рис. e).

Следующими по количеству в группе инертинита фиксируются мацералы в виде склеротинита. К ним отнесены склеротинии округло-угловатой формы. Поверхность их может быть гладкой, но чаще встречается с углублениями или полыми отверстиями (рис. e, f), которые, по-видимому, отвечают плохо сохранившейся клеточной структуре. Цвет изменяется от желтовато-белого до желтого, микрорельеф резко выражен. Наблюдаются как в виде единичных включений в семифюзините, так и в виде скоплений, образующих небольшие колонии.

Таким образом, исследован петрографический состав двух образцов высокометаморфизованных углей, отобранных на угледобывающих предприятиях Кузбасса. Установлено, что по углепетрографическому составу исследованные образцы подразделяются преимущественно на трехкомпонентные с преобладанием групп мацералов инертинита. В

каждой исследованной пробе инертинита содержится более 65%. Максимальное содержание данного мацерала (до 69%) определено в образце №1 (Бунгурский разрез).

По показателям отражения витринита (величина максимальной $R_{o,max}$, минимальной $R_{o,min}$, средней отражательной способности $R_{o,r}$ и анизотропии отражательной способности A_R) определена степень метаморфизма образцов. По ГОСТ 21489 – 76 оба образца можно отнести к VII – VIII стадиям антрацитовой группы, а по ГОСТ 25543 – 2013 – к группам 1А, подгруппам 1АФ.

Визуальный анализ шлифов позволил определить мацеральный состав исследуемых антрацитов. Выявлено, что группа мацералов инертинита состоит в основном из семифюзинита и склеротинита, фюзинит и макринит фиксируются в образцах реже и в меньших количествах.

Полученные данные петрографического анализа исследованных образцов антрацитов важны, так как могут способствовать для определения практических рекомендаций по выбору путей их рационального использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов, В.И. Антрациты России и мира / В.И. Вялов, М.В. Голицын, А.М. Голицын. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1998. – 244 с.
2. Артемьев, В.Б. Петрография углей и их эффективное использование. – М.: «Недра коммюникейшенс ЛТД», 2000. – 334 с.
3. Сорбенты и фильтранты из антрацита / М.А. Передерий [и др.] // Химия твердого топлива, 2019. – №6. – С. 19-28.
4. Скрипченко, Г.Б. Структура, свойства и направления использования антрацитов Горловского бассейна // Химия твердого топлива, 2010. – №3. – С. 3-15.
5. Скрипченко, Г.Б. Структура, свойства и направления использования антрацитов Донецкого бассейна // Химия твердого топлива, 2010. – №2. – С. 3-13.
6. Ведягин А.А. Влияние термической обработки антрацита Горловского бассейна на его адсорбционные характеристики / А.А. Ведягин, И.В. Мишаков // Химия твердого топлива, 2016. – №1. – С. 36-40.
7. Мухин, В.М. Разработка технологии получения активного угля на основе антрацита и исследование его свойств / В.М. Мухин, П.В. Учанов, Н.И. Сотникова // Сорбционные и хроматографические процессы, 2013. – Т.13. – №1. – С. 83-90.
8. Природный потенциал ископаемых углей. Рациональное использование их органического вещества. Часть 2. / М.И. Щадов [и др.]. – М.: «Недра коммюникейшис ЛТД», 2000. – 413 с.
9. Столбова, Н.Ф. Петрология углей / Н.Ф. Столбова, Е.Р. Исаева. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. – 77 с.
10. Петрологический атлас ископаемого органического вещества России / В.И. Вялов [и др.]. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. – 604 с.
11. Petrographic and Raman spectroscopic characterization of coal from Himalayan fold-thrust belts of Sikkim, India / Santanu Ghosha [et. al.]. – International Journal of Coal Geology, 2018. – V. 196. – P. 246-259.
12. Petrographic characterization, variations in chemistry, and paleoenvironmental interpretation of Colombian coals / Gómez Rojas [et. al.]. – International Journal of Coal Geology, 2020. – V. 227. – P. 503-516.
13. Угленасыщенность, петрографический состав и метаморфизм углей тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) / В.П. Алексеев [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2006. – 158 с.
14. Вялов, В.И. Определение анизотропии отражения витринита антрацитов / В.И. Вялов, Г.М. Волкова // Химия твердого топлива, 2017. – №2. – С. 14-17.
15. Авгушевич, И.В. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей. / И.В. Авгушевич, Е.И. Сидорук, Т.М. Броневец. – М.: «Реклама мастер», 2018. – 576 с.

REFERENCES

1. Vjalov, V.I. Antracidity Rossii i mira / V.I. Vjalov, M.V. Golicyn, A.M. Golicyn. – M.: ООО «Nedra-Biznescentr», 1998. – 244 s.
2. Artem'ev, V.B. Petrografija uglej i ih jeffektivnoe ispol'zovanie. – M.: «Nedra kommjunikejshens LTD», 2000. – 334 s.
3. Sorbenty i fil'tranty iz antracita / M.A. Perederij [i dr.] // Himija tverdogo topliva, 2019. – №6. – S. 19-28.
4. Skripchenko, G.B. Struktura, svojstva i napravlenija ispol'zovanija antracitov Gorlovskogo bassejna // Himija tverdogo topliva, 2010. – №3. – S. 3-15.
5. Skripchenko, G.B. Struktura, svojstva i napravlenija ispol'zovanija antracitov Doneckogo bassejna // Himija tverdogo topliva, 2010. – №2. – S. 3-13.
6. Vedjagin A.A. Vlijanie termicheskoj obrabotki antracita Gorlovskogo bassejna na ego adsorbcionnye harakteristiki / A.A. Vedjagin, I.V. Mishakov // Himija tverdogo topliva, 2016. – №1. – S. 36-40.
7. Muhin, V.M. Razrabotka tehnologii poluchenija aktivnogo uglja na osnove antracita i issledovanie ego svojstv / V.M. Muhin, P.V. Uchanov, N.I. Sotnikova // Sorbcionnye i hromatograficheskie processy, 2013. – T.13. – №1. – S. 83-90.
8. Prirodnyj potencial iskopaemyh uglej. Racional'noe ispol'zovanie ih organicheskogo veshhestva. Chast' 2.

/ M.I. Shhadov [i dr.]. – M.: «Nedra kommjunikejshis LTD», 2000. – 413 s.

9. Stolbova, N.F. Petrologija uglej / N.F. Stolbova, E.R. Isaeva. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo un-ta, 2013. – 77 s.

10. Petrologicheskij atlas iskopaemogo organicheskogo veshhestva Rossii / V.I. Vjalov [i dr.]. – SPb.: Izd-vo VSEGEI, 2006. – 604 s.

11. Petrographic and Raman spectroscopic characterization of coal from Himalayan fold-thrust belts of Sikkim, India / Santanu Ghosha [et. al.]. – International Journal of Coal Geology, 2018. – V. 196. – P. 246-259.

12. Petrographic characterization, variations in chemistry, and paleoenvironmental interpretation of Colombian coals / Gómez Rojas [et. al.]. – International Journal of Coal Geology, 2020. – V. 227. – P. 503-516.

13. Uglenasyshhennost', petrograficheskij sostav i metamorfizm uglej tjumenskoj svity Shaimskogo neftegazonosnogo rajona (Zapadnaja Sibir') / V.P. Alekseev [i dr.]. – Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2006. – 158 s.

14. Vjalov, V.I. Opredelenie anizotropii otrazhenija vitrinita antracitov / V.I. Vjalov, G.M. Volkova // Himija tverdogo topliva, 2017. – №2. – S. 14-17.

15. Avgushevich, I.V. Standartnye metody ispytaniya uglej. Klassifikacija uglej. / I.V. Avgushevich, E.I. Sidoruk, T.M. Bronovec. – M.: «Reklama master», 2018. – 576 s.

Поступило в редакцию 23.03.2021

Received 23 March 2021