

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-22-28

УДК 662.741.3.022.001.5

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СПЕКАЮЩИХСЯ СВОЙСТВ УГЛЕЙ

THE RELATIONSHIP OF PETROGRAPHIC FEATURES AND THE SINTERING PROPERTIES OF CARBON

Заостровский Анатолий Николаевич¹,

канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: catalys01@rambler.ru

Anatoly N. Zaostrovsky¹, C. Sc., Leading Researcher, Associate Professor

Грабовая Наталья Анатольевна¹, ведущий инженер

Natalya A. Grabovaya¹, Lead 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 Coal 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 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация:

Выполнено исследование по установлению взаимосвязи петрографических особенностей и спекающихся свойств углей. Угли Кузнецкого бассейна крайне разнообразны по петрографическому составу и поэтому уголь каждого пласта следует рассматривать как естественную шихту, состоящую из плавких и отошающих компонентов.

Объектом исследования были выбраны концентраты углей коксующихся марок обогатительных фабрик Кузбасса. По данным технического анализа образцы углей близки по зольности ($A^d = 7,6-11,8\%$). Показатели выхода летучих веществ ($V^{daf} = 19,8-38,0$) и толщина пластического слоя находятся в тесной связи с петрографическим составом и стадией метаморфизма углей.

На основе петрографического параметра – показателя отражения витринита ($R_{o,v}$), угли по генетической классификации относятся к 07-13 классу, объединяющие угли коксующихся марок. Формы рефлектограмм, полученные на основании показателя отражения витринита, позволяют прогнозировать возможные изменения в производственном процессе при дальнейшем применении той или иной марки угля.

Ключевые слова: каменный уголь, петрографический анализ угля, показатель отражения витринита, рефлектограмма, спекаемость, коксуетость угля

Abstract:

The study was carried out to establish interacting of petrographic features and sintering coal properties. The coals of the Kuznetsk basin are extremely diverse in petrographic composition and therefore the coal of each layer should be considered as a natural charge, consisting of fusible and exhaust components.

The object of the study was concentrates of coking coal grades from the Kuzbass enrichment plants. According to the technical analysis, coal samples are similar in ash content ($A^d = 7.6-11.8\%$). The volatiles yield indices ($V^{daf} = 19.8-38.0$) and the thickness of the plastic layer are closely related to the petrographic composition and the stage of coal metamorphism.

Taking into consideration the petrographic parameter - a reflection index of vitrinite ($R_{o,r}$), coals, according to the genetic classification, belong to the 07-13 class, combining coals of coking grades. The forms of reflectograms obtained on the basis of the reflection index of vitrinite make it possible to predict possible changes in the production process with the further use of the particular brand of coal.

Key words: coal, petrographic coal analysis, vitrinite reflection index, reflectogram, sintering ability, coking ability of coal

Введение

На коксохимические предприятия нередко поступают сложные смеси углей различных технологических групп и даже классов (марок). Эффективными методами, позволяющими достоверно установить, является ли данный уголь однородным по стадии метаморфизма (основной признак принадлежности угля к тому или иному классу) или смесью углей различных классов, являются методы петрографии. Петрография угля – метод микроскопии для определения группы угля (степень углефикации) и типа (количество и категории мацералов). Петрография имеет первостепенное значение для оценки битуминозного угля и угольных смесей, а также определения их потенциала для производства доменного кокса.

Особенностью современного этапа изучения твёрдого топлива является постановка ряда принципиальных вопросов углехимии на основе успехов петрографии угля, в частности вопросов физических свойств углей, метаморфизма углей или углефикации, связи природы угля с его технологическими свойствами и многих других. Определение отражательной способности витринита и снятие рефлектограмм на автоматизированном анализаторе петрографических свойств каменных углей SIAMS 620 позволяют достаточно достоверно контролировать идентичность партий поступающих на коксование углей.

Анализ работ по петрологии углей, проводимых в различных странах Европы, свидетельствует о целесообразности применения контрольного петрографического анализа углей, поставляемых на коксохимические заводы, и особенно в тех случаях, когда с помощью традиционных методов анализа невозможно выявить особенности поведения угля при коксовании [1–7].

Прогноз механической прочности кокса и оптимизация состава шихт представляют собой единую задачу, так как заданная прочность кокса служит основным критерием оптимизации состава шихты. Научные основы и метод прогноза прочности кокса на основе петрографических

характеристик углей были разработаны в СССР в 50-х годах XX столетия, а затем они получили дальнейшее развитие и применение в коксохимической промышленности ряда стран.

В основе метода лежат особенности взаимодействия микрокомпонентов углей в процессе коксования. Микрокомпоненты группы витринита и лейптинита (экзинита) при коксовании образуют продукты, составляющие изотропную жидкую фазу и обеспечивающие формирование пластического состояния углей. Эти микрокомпоненты по отечественной терминологии обозначаются как плавкие или спекающие, а за рубежом – как реактивные.

В качестве объекта исследования выбраны каменные угли Кузнецкого бассейна коксующихся марок, имеющих средний произвольный показатель отражения витринита $R_{o,r} = 0,791-1,39\%$, что соответствует области углей для коксования ($R_{o,r} = 0,75-1,75\%$).

Цель работы – выявить взаимосвязь петрографических характеристик углей и спекающих свойств, обеспечивающих получение металлургического кокса.

Экспериментальная часть

Проблема улучшения качества кокса на коксохимических заводах, работающих на кузнецких углях, остаётся нерешенной и вряд ли может быть решена только за счёт угольной сырьевой базы коксования. В этой связи целесообразно детально рассмотреть потенциальные возможности некоторых углей с тем, чтобы определить максимально возможный уровень прочности кокса при существующих режимах их подготовки и коксования.

Основными параметрами, по которым проводилось изучение проб углей, наряду с изучением их петрографического состава, явились технический анализ, пластометрические показатели (табл. 1) и петрографические характеристики (табл. 2).

Рефлектограммный анализ угольных концентратов ОФ «Щедрухинская» (рис. 1), ОФ «Междуреченская» (рис. 2) и ОФ «Тайбинская»

Таблица 1. Технический анализ и пластометрические показатели углей
Table 1. Technical analysis and plastometric indicators of coal

| Обогащительная фабрика, поставщик | Марка | Технический анализ, % | | | Пластометрические показатели, мм | |
|-----------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------|----------------------------------|----|
| | | W^a | A^d | V^{daf} | X | Y |
| Щедрухинская | ГЖ | 5,9 | 9,0 | 38,0 | 17 | 7 |
| Междуреченская | КС | 1,5 | 8,4 | 19,8 | 23 | 7 |
| Тайбинская | ГЖ+КЖ | 12,7 | 10,1 | 29,1 | 45 | 15 |
| Антоновская | Ж+ГЖ | 3,6 | 7,6 | 37,4 | 38 | 22 |
| Восточная | К+КЖ | 5,0 | 11,8 | 24,1 | 35 | 18 |

Таблица 2. Петрографические характеристики углей
Table 2. Petrographic characteristics of coal

| Обогащительная фабрика, поставщик | Марка | Отражательная способность и петрографический состав угольных концентратов, % | | | | |
|-----------------------------------|-------|--|-------|-------|----|-------------|
| | | $R_{o,r}$ | V_t | S_v | I | ΣOK |
| Щедрухинская | ГЖ | 0,791 | 86 | 2 | 12 | 14 |
| Междуреченская | КС | 1,39 | 49 | 8 | 43 | 48 |
| Тайбинская | ГЖ+КЖ | 1,114 | 56 | 2 | 42 | 43 |
| Антоновская | Ж+ГЖ | 0,90 | 60 | 2 | 12 | 14 |
| Восточная | К+КЖ | 1,191 | 57 | 8 | 39 | 44 |

Примечание. $R_{o,r}$ – показатель отражения витринита (в иммерсионном масле, случайной ориентации); V_t – витринит; S_v – семивитринит; I – инертинит; ΣOK – сумма отошающих компонентов.

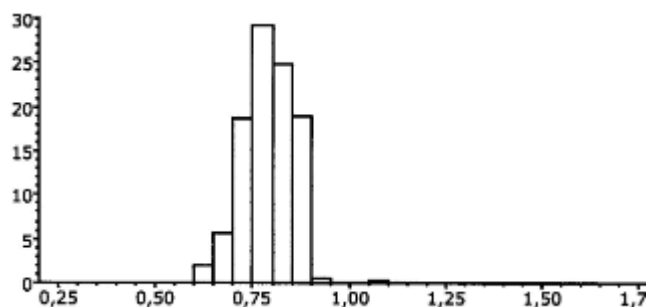


Рис. 1. Рефлектограмма концентрата ОФ «Щедрухинская» (марка ГЖ)
Fig. 1. Reflectogram of the concentrate PF Shchedrukhinskaya (grade GZ)

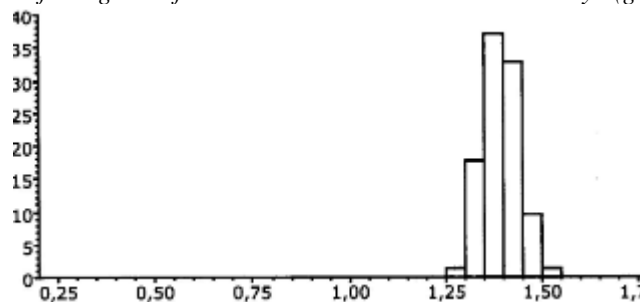


Рис. 2. Рефлектограмма концентрата ОФ «Междуреченская» (марка КС)
Fig. 2. Reflectogram of the concentrate PF Mezhdurechenskaya (brand KS)

(рис. 3) показывает, что доля в них витринита с показателем отражения $R_{o,r} \geq 0,79$ % составляет соответственно 86, 49 и 56 % (см. табл. 2), а сумма отошающих компонентов соответственно 14, 48 и 43 %. Отсюда следует ожидать получение более прочного кокса из шихты с содержанием концентрата ОФ «Щедрухинская», чем из шихты с концентратом ОФ «Междуреченская» и ОФ «Тайбинская». Кроме того, согласно рефлектограммному анализу концентрат ОФ

«Тайбинская» содержит смесь марок ГЖ+КС с подавляющим преобладанием марки КС, а высокая зольность ($A^d=10,1$ %) не позволяет получать кокс требуемой (стандартом) зольности [8-11].

Анализируя рефлектограмму концентрата ОФ «Антоновская» (рис. 4), можно отметить, что смесь марок углей «Ж» и «ГЖ» находится примерно в равном соотношении, о чём говорит симметричность рефлектограммы, а толщина пластического слоя ($Y=22$ мм) обеспечит хорошую

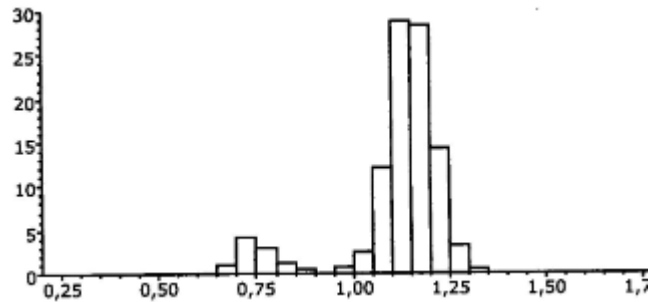


Рис. 3. Рефлектограмма концентрата ОФ «Тайбинская» (марка ГЖ+КЖ)
Fig. 3. Reflectogram of the concentrate PF "Taybinskaya" (brand GZH + KZh)

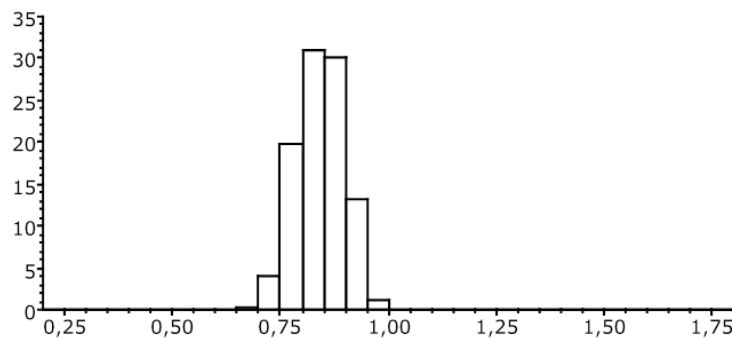


Рис. 4. Рефлектограмма концентрата ОФ «Антоновская» (марка Ж+ГЖ)
Fig. 4. Reflectogram of the concentrate of PF "Antonovskaya" (grade Zh + GZh)

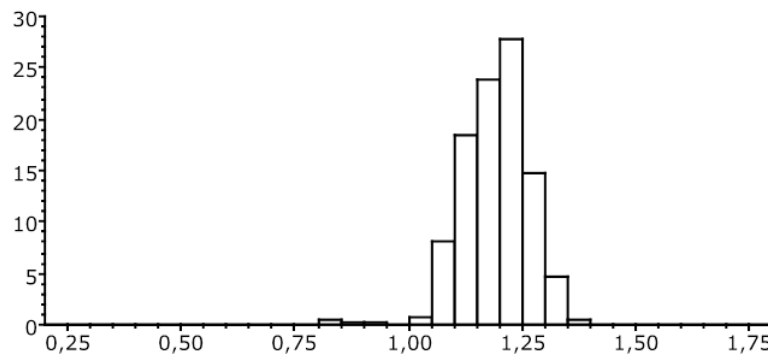


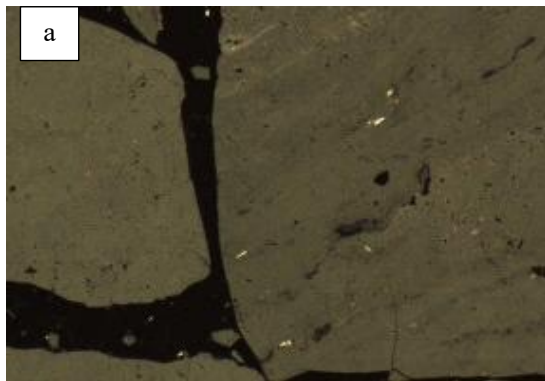
Рис. 5. Рефлектограмма концентрата ОФ «Восточная» (марка К+КЖ)
Fig. 5. Reflectogram of the concentrate PF "Vostochnaya" (grade K + KZh)

спекаемость и качество кокса. То же самое можно отметить и для угольного концентрата ОФ «Восточная». Характер рефлектограммы симметричный, что позволяет судить о приблизительно равном соотношении марок «К» и «КЖ» в смеси, которая в целом является хорошим компонентом при составлении шихты для коксования.

В связи с имеющимися различиями рефлектограмм концентратов обогатительных фабрик необходимо отметить некоторые основные требования, предъявляемые к ним с точки зрения получения кокса требуемого качества. Во-первых, их унимодальность, т.е. отсутствие двух и более ярко выраженных пиков. Во-вторых, наименьший диапазон изменений показателя отражения

витринита углей, составляющих шихту. Первое требование связано главным образом с необходимостью иметь в шихте непрерывный набор углей с близкими свойствами, чтобы обеспечить наиболее полное взаимодействие компонентов шихты при коксовании; второе обусловлено необходимостью иметь в шихте близкие по степени метаморфизма угли, чтобы максимально уменьшить эффект их несогласованного пиролиза при коксовании [12-16].

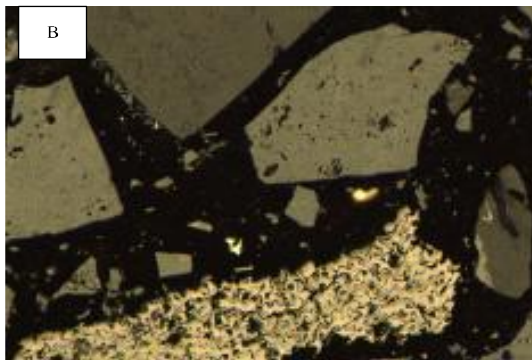
При определении петрографического состава углей принято характеризовать его по содержанию микрокомпонентов (мацералов), как элементарных составляющих углей. Мацералы – это составляющие угля, возникшие в результате



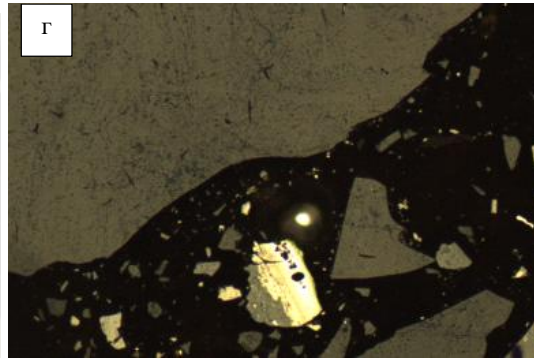
Мацерал коллинит группы витринита



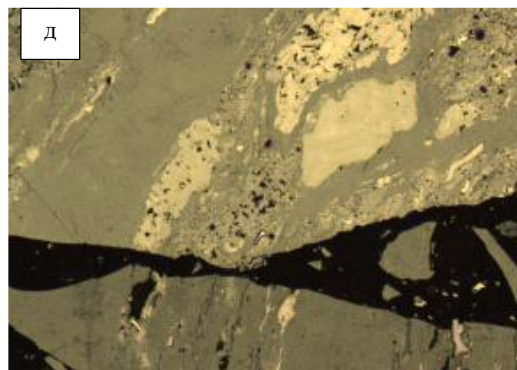
Тонкое переслаивание коллинита с липинитом с липинитом, инертинитом и семивитринитом



Телинит структурный



Телинит с минеральными включениями



Переслаивание фюзинита, инертодетринита, витринита и липинита

Рис. 6. Микрофотографии проб углей: а – ОФ «Щедрухинская»; б – ОФ «Междуреченская»; в – ОФ «Тайбинская»; г – ОФ «Антоновская»; д – ОФ «Восточная». Отраженный свет, масляная иммерсия, ув. 300

Fig. 6. Microphotographs of coal samples: a - PF Shchedrukhinskaya; b - PF "Mezhdurechenskaya"; c - PF "Taybinskaya"; d - PF "Antonovskaya"; d - PF "East". Reflected light, oil immersion, SW. 300

углефикации растительного вещества, различающиеся между собой по цвету, показателю отражения, микрорельфу, морфологии, структуре и степени её сохранности. При количественном петрографическом анализе мацералы углей объединяются в группы, где в основу разделения положены как их генетические, так и химико-технологические свойства.

Витринит (рис. 6) является основным углеобразующим компонентом большинства углей. Он образуется из листовых и древесных

тканей: корней, стволов, коры и листьев, состоящих из лигнина и целлюлозы. В группе витринита выделено три мацерала: коллинит (рис. 6: а; б), телинит (рис. 6: в; г) и витродетринит.

Коллинит – образует основную цементирующую массу для обломков всех других мацералов и связанных с ними минералов.

Телинит – это витринизированные фрагменты, как правило, сохранившие клеточную структуру растительного вещества различной степени сохранности.

Мацералы группы инертинита находятся на втором, после витринита, месте по распространенности. Мацералы группы имеют разное растительное происхождение, но их объединяет сходство оптических и технологических свойств. Эти мацералы в технологических процессах более инертны, чем мацералы групп витринита и липтинита. Группа инертинита включает мацералы: семифузинит, макринит, микринит, фузинит, склеро-тинит и инертодетринит (рис. 6: д). Форма и степень сохранности клеточной структуры различны и зависят от постседиментационной истории инертинитовых мацералов.

Выводы

Несмотря на то, что отражательная способность витринита как показатель степени метаморфизма имеет преимущества по сравнению с любым другим параметром, технологические классификации углей построены на основе выхода летучих веществ. По-видимому, причиной этого являлось отсутствие стандартизованных методов определения отражательной способности витринита и четкой градации углей по показателю отражения. К тому же практики считают, что показатель выхода летучих веществ является технологическим параметром и в какой-то мере даёт сведения о поведении углей при коксовании.

Технологические свойства углей определяются в первую очередь их технологическими особенностями, т.е. теми, которые обуславливают различную отражательную способность. В связи с этим отражательную способность витринита нужно рассматривать в первую очередь как технологический показатель свойства углей.

Применение в коксохимической промышленности петрографических методов анализа углей и шихт даёт возможность контролировать состав углей, поступающих для коксования, и в соответствии с их характеристикой (отражательной способностью и петрографическим составом) оптимизировать состав шихт с целью получения кокса с максимально возможной прочностью для данных углей и принятых условий коксования.

Автоматизированные приборы для определения петрографических показателей с компьютерной программой обработки аналитических данных позволяют проводить оперативный (в течение нескольких минут) контроль состава и качества поступающих углей, корректировать состав шихты и делают возможным создание автоматизированной системы управления качеством кокса.

Методы прогноза прочности металлургического кокса по петрографическим характеристикам дают возможность на стадии разведки новых угольных месторождений по керновым пробам оценить коксуюемость углей в показателях прочности кокса, применяемых в промышленности, и устанавливать возможную оптимальную долю участия их в шихтах для коксования без проведения специальных опытных коксований в полупромышленных или промышленных печах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН по проекту № АААА-А17117041910147-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Петрология палеозойских углей СССР (VIII Международный конгресс по стратиграфии и геологии карбона) / Отв. редактор И.В. Еремин // М.: Недра, 1975. 215 с.
- 2 Ископаемые угли Сибири и методы их изучения / Отв. редактор И.Н. Звонарев // Изд. «Наука». Сиб. отд-ние, Новосибирск, 1971. С. 275.
- 3 Травин, А.Б. Атлас верхнепалеозойских углей Кузнецкого бассейна / А.Б. Травин, Э.М. Сендерзон, В.П. Шорин, Т.А. Громова, Е.Е. Ивановка, К.С. Пермина, Е.М. Попова, В.Ф. Шугуров, Т.С. Юсупов // Под ред. И.Н. Звонарева. Новосибирск: Наука. 1966. 368 с.
- 4 Еремин, И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Еремин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев // М., Недра. 1980. 263 с.
- 5 Еремин, И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И.В. Еремин, А.С. Арцер, Т.М. Броновец // Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
- 6 Жемчужников, Ю.А. Основы петрологии углей / Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинзбург // М., Изд. АН СССР. 1960. 400 с.
- 7 Штах, Э. Петрология углей / Э. Штах, М.-Т. Маковски, М. Тейхмюллер, Г. Тейлор, Д. Чандра, Р. Тейхмюллер / Пер. с англ. Глушнева С.В., Дубровского В.В., Хасиной А.И. // М., «Мир». 1978. 554 с.
- 8 Заостровский, А.Н. Петрографический анализ углей Печорского бассейна / А.Н. Заостровский, Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина, Н.А. Грабовая, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. 23 (2015), с. 131-134.

- 9 Заостровский, А.Н. Петрографический состав коксовых углей Кузнецкого бассейна / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, З.Р. Исмагилов З.Р. // *Химия в интересах устойчивого развития*. 24 (2016), с. 363-367.
- 10 Заостровский, А.Н. Оценка коксуемости углей по показателям петрографического состава / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, Н.И. Федорова, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // *Химия уст. разв.* 2018. Т. 26, № 6. С. 589-595.
- 11 Заостровский, А.Н. Петрографическая характеристика газовых углей Кузбасса / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // *Кокс и химия*. 2017. № 11. С. 25-30.
- 12 Тайц, Е.М. Методы анализа и испытания углей / Е.М. Тайц, И.А. Андреева // *М., Недра*, 1983. 301 с.
- 13 Августевич, И.В. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей // *М: НТК «Трек»*, 2008. 367 с.
- 14 Петрографический кодекс России // *С.-Петербург, Изд-во ВСЕГЕИ*, 2009. 160 с.
- 15 Арцер, А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А.С. Арцер, С.И. Протасов // *Кн. 1. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та*, 1999. 177 с.
- 16 Арцер, А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А.С. Арцер, С.И. Протасов // *Кн. 2. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та*, 1999. 168 с.

REFERENCES

- 1 Petrologiya paleozoyskikh ugley SSSR (VIII Mezhdunarodnyy kongress po stratigrafii i geologii karbona) / *Otv. redaktor I.V. Yeremin* // *М.: Nedra*, 1975. 215 s.
- 2 Iskopayemyye ugli Sibiri i metody ikh izucheniya / *Otv. redaktor I.N. Zvonarev* // *Izd. «Nauka». Sib. otdniye, Novosibirsk*, 1971. S. 275.
- 3 Travin, A.B. Atlas verkhnepaleozoyskikh ugley Kuznetskogo basseyna / A.B. Travin, E.M. Senderzon, V.P. Shorin, T.A. Gromova, Ye.Ye. Ivan'kova, K.S. Permina, Ye.M. Popova, V.F. Shugurov, T.S. Yusupov // *Pod red. I.N. Zvonareva. Novosibirsk: Nauka*. 1966. 368 s.
- 4 Yeremin, I.V. Petrografiya i fizicheskiye svoystva ugley / I.V. Yeremin, V.V. Lebedev, D.A. Tsikarev // *М., Nedra*. 1980. 263 s.
- 5 Yeremin, I.V. Petrologiya i khimiko-tekhnologicheskkiye parametry ugley Kuzbassa / I.V. Yeremin, A.S. Artser, T.M. Bronovets // *Kemerovo: Pritomskoye*, 2001. – 399 s.
- 6 Zhemchuzhnikov, YU.A. Osnovy petrologii ugley / YU.A. Zhemchuzhnikov, A.I. Ginzburg // *М., Izd. AN SSSR*. 1960. 400 s.
- 7 Shtakh, E. Petrologiya ugley / E. Shtakh, M.-T. Makovski, M. Teykhmyuller, G. Teylor, D. Chandra, R. Teykhmyuller / *Per. s angl. Glushneva S.V., Dubrovskogo V.V., Khasinoy A.I.* // *М., «Mir»*. 1978. 554 s.
- 8 Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskiy analiz ugley Pechorskogo basseyna / A.N. Zaostrovskiy, N.V. Zhuravleva, R.R. Potokina, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 23 (2015), s. 131-134.
- 9 Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskiy sostav koksovykh ugley Kuznetskogo basseyna / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov Z.R. // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 24 (2016), s. 363-367.
- 10 Zaostrovskiy, A.N. Otsenka koksuyemosti ugley po pokazatelyam petrograficheskogo sostava / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, N.I. Fedorova, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // *Khimiya ust. razv.* 2018. Т. 26, № 6. С. 589-595.
- 11 Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskaya kharakteristika gazovykh ugley Kuzbassa / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // *Koks i khimiya*. 2017. № 11. С. 25-30.
- 12 Tayts, Ye.M. Metody analiza i ispytaniya ugley / Ye. M. Tayts, I.A. Andreyeva // *М., Nedra*, 1983. 301 с.
- 13 Avgushevich, I.V. Standartnyye metody ispytaniya ugley. Klassifikatsiya ugley // *М: НТК «Трек»*, 2008. 367 с.
- 14 Petrograficheskiy kodeks Rossii // *С.-Петербург, Изд-во VSEGEI*, 2009. 160 с.
- 15 Artser, A.S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye / A.S. Artser, S.I. Protasov // *Кн. 1. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та*, 1999. 177 с.
- 16 Artser, A.S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye / A.S. Artser, S.I. Protasov // *Кн. 2. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та*, 1999. 168 с.

Поступило в редакцию 18.12.2019

Received 18 December 2019