

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-4-70-76

УДК 662.741.3.022.001.5

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ

PETROGRAPHIC ANALYSIS OF BROWN COALS

Федорова Наталья Ивановна¹

канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник, 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. Grabovaya, Senior Engineer

Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2},

член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой, e-mail: ZinferI@mail.ru

Zinfer R. Ismagilov^{1,2},

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Head of 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,
18, av. Soviet, Kemerovo, 650000, Russian Federation²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28²T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation**Аннотация:**

Ископаемые угли – это сложная композиционная система, состоящая из органических микрокомпонентов в виде мацералов и минеральных включений. Актуальность работы определяется тем, что для прогноза технологических свойств и выбора основных направлений промышленного использования углей большое значение имеют данные о вещественно-петрографическом их составе, так как мацеральный состав углей является одним из параметров классификаций и кодификаций углей.

В качестве объектов исследования использовались бурые угли следующих месторождений: Итатского, Мунайского, Архаро-Богучанского, Кангаласского, Багануур (Монголия). Исследованные образцы охарактеризованы техническим и элементным методами анализа. Установлено, что зольность бурых углей составляет величину менее 10%, выход летучих веществ изменяется в пределах от 41% до 48%.

Методом петрографического анализа для исследованных углей определен показатель отражения витринита ($R_{o,r}$). Установлено, что наименьшим показателем отражения витринита обладает образец бурого угля Итатского месторождения ($R_{o,r} = 0.388\%$), максимальной величиной характеризуется бурый уголь Кангаласского месторождения ($R_{o,r} = 0.490\%$). Увеличение генетической зрелости исследованных образцов связано с изменением технологических свойств их органической массы. Показано, что с ростом $R_{o,r}$ увеличивается содержание углерода (C^{daf}), снижается выход летучих веществ, а также атомное отношение H/C и O/C.

Визуальный анализ анилифов позволил определить мацеральный состав исследуемых углей. В образце бурого угля Багануурского месторождения (Монголия) выявлено наибольшее содержание инертинита (более 60%), в образце Кангаласского месторождения содержится наибольшее количество мацералов группы витринита (86%).

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

Abstract:

Fossil coals are a complex composition system consisting of organic microcomponents in the form of macerals

and mineral inclusions. The relevance of the work is determined by the fact that for the forecast of technological properties and the choice of the main areas of industrial use of coal, data on their petrographic composition are very important, since the maceral composition of coal is one of the parameters of coals classification and codification.

Brown coals of the following deposits were used as objects of research: Itatsky, Munai, Arkharo-Boguchansky, Kangalassky, and Baganuur (Mongolia). The investigated samples are characterized by technical and elemental methods of analysis. It is established that the ash content of brown coals is less than 10%, the yield of volatile substances varies from 41% to 48%.

The index of vitrinite ($R_{o,r}$) was determined by the method of petrographic analysis for the studied coal. It has been established that the sample of brown coal from the Itatsky deposit ($R_{o,r} = 0.388\%$) has the smallest indicator of vitrinite reflection, the brown coal from the Kangalassky deposit ($R_{o,r} = 0.490\%$) is characterized by the maximum value. An increase in the genetic maturity of the studied samples is associated with a change in the technological properties of their organic mass. It is shown that with an increase in $R_{o,r}$, the carbon content (C^{daf}) increases, the yield of volatile substances decreases, as well as the atomic ratio H/C and O/C.

A visual analysis of the polished sections made it possible to determine the maceral composition of the coal under study. The sample of brown coal from the Baganuurskoye deposit (Mongolia) revealed the highest content of inertinite (more than 60%); the sample of the Kangalasskoye deposit contains the largest amount of macerals of the vitrinite group (86%).

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

Бурый уголь – это низкометаморфизованный уголь с заметным структурным строением растительного вещества, из которого он образован. Материалом для образования бурого угля послужили различные древовидные папоротники, хвощи и плауны, листовые деревья, а также первые голоосеменные и торфяные растения. Бурый уголь распространен в отложениях различного возраста, начиная от девона и карбона, но наиболее богатые месторождения относятся к мезозойскому и третичному возрастам. Различают три основных разновидности бурого угля: лигнит (с ясно различимой древесной структурой материнских растений), рыхлый землистый и плотный блестящий [1].

От каменного угля бурый уголь внешне отличается цветом черты на фарфоровой пластинке – она всегда бурая. Однако самое важное отличие заключается в меньшем содержании углерода и значительно большим летучих веществ и воды. К бурым углям относятся угли с выходом летучих веществ более 40% на горючую массу и высшей удельной теплотой сгорания рабочей массы беззольного состояния менее 24 МДж/кг, но более 17,4 МДж/кг, содержание углерода – от 60 до 75%, водорода – до 6%.

Согласно ГОСТ 25543-2013 бурые угли рекомендуются использовать качестве энергетического топлива и как химическое сырье для получения жидкого топлива и разных синтетических веществ, газа и удобрений. При специальной обработке из бурого угля можно получать кокс, пригодный для металлургического производства. При этом следует отметить, что для прогноза технологических свойств [2-4] и выбора основных направлений использования углей конкретного месторождения необходимы данные об их вещественно-петрографическом составе [5-9]. В данной работе приведены результаты исследования петрографического состава бурых углей различных месторождений.

В качестве объектов использовались пять образцов бурых углей, взятые из коллекции углей, формируемой в Институте углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН. Исследовались угли следующих месторождений: Итатское – №1, Мунайское – №2, Бажануурское (Монголия) – №3, Архаро-Богучанское – №4, Кангаласское – №5.

Итатское бурого угольное месторождение размещается в западной части Канско-Ачинского бассейна на территории Итатского и Тисульского районов Кемеровской области. Промышленный интерес представляет пласт Итатский, имеющий простое строение и среднюю мощность порядка 58 м при колебаниях от 10 до 98 м. Угли месторождения малосернистые, обладают невысокой зольностью, пригодны для использования в теплоэнергетике и в качестве химического сырья [10,11].

Мунайское угольное месторождение – единственное угольное месторождение, расположенное в Солтонском районе Алтайского края в 100 км от г. Бийска. Месторождение представлено двумя промышленными, горизонтально залегающими на глубине 41-57 м пластами средней мощностью 10-12 м, является частью угленосной площади «Няня-Чумышская впадина». Прогнозные запасы оцениваются в 250 млн тонн. В настоящее время на двух разрезах (Мунайский-1 и Мунайский-2) разведанные запасы составляют 34 млн тонн. Бурые угли по свойствам (влажность, выход летучих веществ, теплота сгорания и пр.) близки к бурым углям Канско-Ачинского бассейна, однако по содержанию золы и серы несколько им уступают [12].

Архаро-Богучанское месторождение бурого угля (Нижне-Зейский бассейн) расположено в Архаринском административном районе в 15 км от станции Архара Амурской области. На месторождении вскрыто 4 угольных пласта (снизу вверх):

Таблица 1. Характеристика исследованных образцов

Table 1. Characteristics of the samples studied

№ образца угля	Технический анализ, %				Элементный состав, % на daf			Атомное отношение		Q_o^{daf} , МДж/кг
	W^a	A^d	V^{daf}	S_t^d	С	Н	(O+N+S)	Н/С	О/С	
1	7,0	7,5	48,5	0,3	68,7	4,3	27,0	0,75	0,29	25,76
2	8,5	7,2	46,4	0,7	71,5	4,5	24,0	0,76	0,25	27,56
3	11,3	7,4	44,2	0,3	70,9	4,9	24,2	0,83	0,26	27,61
4	4,5	10,8	45,2	0,4	71,0	4,9	24,1	0,83	0,25	27,29
5	2,8	2,8	41,4	0,4	77,5	5,5	17,0	0,85	0,16	31,34

Примечание. Образцы бурых углей месторождений: №1 – Итатское, №2 – Мунайское, №3 – Багануур, №4 – Архаро-Бугучанское, №5 – Кангаласское.

Таблица 2. Характеристика петрографического состава исследованных образцов

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

№ образца угля	Петрографические параметры, %					Показатель отражения витринита		Стадия метаморфизма
	V_t	S_v	I	L	ΣOK	$R_{o,r}$, %	σ_R	
1	54	42	4	1	32	0,388	0,05	O ₂
2	62	4	31	3	34	0,434	0,05	O ₃
3	27	8	63	2	68	0,401	0,03	O ₂ -O ₃
4	41	43	12	4	41	0,403	0,05	O ₂ -O ₃
5	86	2	6	6	7	0,490	0,03	O ₃

Нижний, Двойной, Промежуточный и Великан. Глубина их залегания в промышленном контуре месторождения – от 5 до 80 м. Пласты Промежуточный, Двойной и Нижний сложены преимущественно плотным углем черного цвета с буроватым и коричневым оттенком. Редко наблюдаются угли мягкие, рыхлые, землистые коричневого цвета. Органическая масса угля характеризуется высоким содержанием микрокомпонентов группы витринита и фюзинита, незначительно в угле распространены микрокомпоненты группы липтинита. Минеральная часть угля представлена пелитоморфными глинистым и кремнистым веществом, обломочным кварцем, сульфидами железа [13]. Горногеологические условия Архаро-Богучанского месторождения позволяют отрабатывать его открытым способом.

Кангаласское бурого угольное месторождение приурочено к юго-восточному крылу Вилуйской синеклизы и составляет южную часть Якутско-Кангаласского угленосного района Ленского бассейна. Запасы Кангаласского бурого угольного месторождения составляют основную часть добываемого в Республике Саха (Якутия) топлива. Наибольшую ценность представляют два сближенных, часто сливающихся угольных пласта – Нижний и Верхний. Ресурсы углей оцениваются в 24-30 млрд. т, разведанные запасы составляют 1 млрд. т. Горно-геологические условия благоприятны для открытой разработки. Угли типично гумусовые, преимущественно витринитовые, плотные, среднелинейные (от 6 до 25%), малосернистые (около 0,3%), обладают высокой теплотой сгорания (до 28,3 МДж/кг) [10,14,15]. Свежедобытые угли имеют высокую влажность, низкую прочность

куска, неустойчивы при хранении и, быстро теряя влагу, распадаются, превращаясь в мелочь и пыль.

Багануурское месторождение бурого угля расположено в центральном аймаке в 110 км на восток от г. Улан-Батор и относится к крупным наиболее промышленно значимым месторождениям Монголии. Естественными границами месторождения служат выходы пласта 2 под четвертичными отложениями. Горизонт мощных пластов включает пласты 2, 2^a и 3, которые пригодны для отработки открытым способом. Угли черного и темно-бурого цвета, со смолистым блеском, плотные и крепкие, с раковистым изломом. При складировании на поверхности они приобретают матовый блеск, распадаются на множество остроугольных обломков. Основное количество бурого угля добывается на разрезе Багануур с промышленными запасами 515 млн. т. Уголь потребляется в основном на внутреннем рынке для выработки электроэнергии и теплоснабжения [16].

Технический анализ углей проводили стандартными методами. Состав органической массы определяли методами элементного анализа.

Угольные образцы в исходном состоянии плотные с чередованием матовых и блестящих полос. Петрографический анализ и анализ рефлектограмм осуществляли по ГОСТ 9414.1–94, ГОСТ Р 55662–2013, ГОСТ Р 55663–2013 и ГОСТ Р 55659–2013. Данные стандарты распространяются на угли бурые, каменные и антрациты (угли низкой, средней и высокой стадий метаморфизма). Определение стадии метаморфизма испытуемых углей проводили по ГОСТ 21291–76.

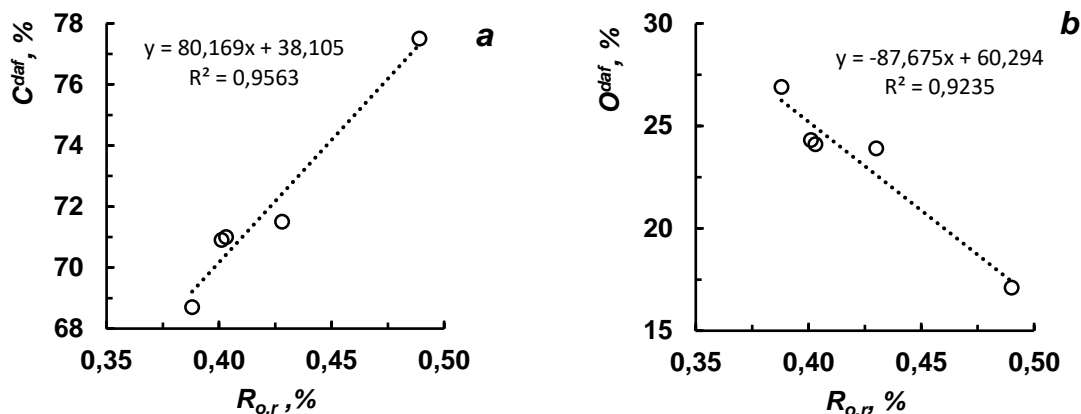


Рис. 1. Взаимосвязь между показателем отражения витринита бурых углей ($R_{o,r}$, %) и содержанием углерода C^{daf} (a) и кислорода O^{daf} (b) в их органической массе

Fig. 1. The relationship between the indicator of vitrinite reflection of brown coal ($R_{o,r}$, %) and the carbon content of C^{daf} (a) and oxygen O^{daf} (b) in their organic mass

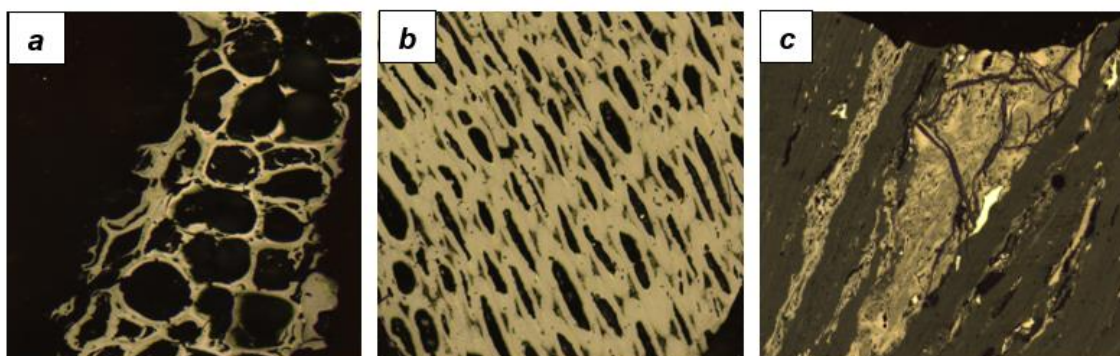


Рис. 2. Микрофотографии поверхности анилифов (отраженный свет, масляная иммерсия, ув. 300) исследованных образцов бурых углей с мацералами группы инертинита: а – фюзинит в образце Итатского месторождения;

б – фюзинит в образце Мунайского месторождения;

с – переслаивание фюзинита в витрините в образце Кангаласского месторождения

Fig. 2. Micrographs of the surface of polished sections (reflected light, oil immersion, magn. 300) of the investigated samples of brown coal with macerals of the inertinite group: a - fusinite in the sample of the Itat'sky deposit;

б - fusinite in the sample of the Munai deposit;

с - interbedding of fusinite in vitrinite in a sample of the Kangalassky deposit

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 ее сохранности, а также по размерам. 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.

Характеристика исследованных угольных образцов приведена в таблице 1.

Аналитические данные показывают, что зольность исследованных образцов практически не превышает 10%. Однако следует отметить, что образцы углей Кангаласского и Архаро-Богучанского месторождений имели зольность 13,5% и 14,6% соответственно. Для корректного проведения петрографического анализа они были подвергнуты обогащению в четыреххлористом углероде согласно ГОСТ 1186-2014, Приложение А. Для аналитических исследований использовалась фракция плотностью менее 1,5 г/см³.

Выход летучих веществ (V^{daf}) в исследованных образцах колеблется от 40 до 50% (таблица 1). Наибольшее значение V^{daf} определено для образца

угля Итатского месторождения (48,5%), наименьшее – для кангаласского бурого угля (41,4%).

Характеристика петрографического состава бурых углей приведена в таблице 2.

Представленные данные показывают, что показатель отражения витринита ($R_{o,r}$) изменяется от 0,388% (образец №1 Итатское месторождение) до 0,490% (образец №5 Кангаласское месторождение). Рефлектограммы, полученные в результате петрографического анализа, для всех образцов не имеют разрывов, для них характерен минимальный показатель петрографической неоднородности ($\sigma_R = 0.03$ и 0.05), что указывает о стабильности химико-петрографических параметров исследованных углей.

Выявленную отражательную способность витринита для исследованных бурых углей сопоставили с содержанием углерода C^{daf} и кислорода O^{daf} в их органической массе, величины которых приведены в таблице 1. Графический анализ показал существование тесной корреляционной связи между показателем отражения витринита ($R_{o,r}, \%$) с C^{daf} и O^{daf} (рис. 1). Полученные результаты согласуются с существующим представлением о том, что с увеличением степени метаморфизма углей уменьшается выход летучих веществ и величина атомных отношений Н/С и О/С [5,6].

Изучение угольных образцов в отраженном свете позволило определить их петрографические особенности. По результатам исследований бурые угли представляют собой сложную смесь мацералов групп витринита, семивитринита, инертинита и липтинита. Однако надо отметить, что содержание липтинита не столь значительно и его количество в углях колеблется от 1 до 6% (таблица 2). Мацералы группы липтинита определены в виде кутинита и резинита, которые в отраженном свете имеют темно-серый цвет, форму и резкий рельеф по сравнению с цементирующей основной массой углей.

Наибольшее количество мацералов группы

витринита (Vt) определено в образце №5 бурого угля Кангаласского месторождения (86%) и в образце №2 Мунайского месторождения (62%) (таблица 2). Мацералы группы витринита в отраженном свете имеют достаточно однородную поверхность и темновато-серый цвет.

Наибольшее количество семивитринита (Sv) – порядка 42% – определено в образцах №1 Итатского месторождения и в образце №4 Архаро-Богучанского месторождения.

Наибольшее количество инертинита (I) содержит образец №3 бурого угля Багануурского месторождения Монголии (порядка 63%) (таблица 2). При этом следует отметить, что мацералы группы инертинита определяются во всех образцах бурых углей преимущественно в виде фюзинита. Цвет в отраженном свете данного мацерала желтый. Фюзинит имеет всевозможную клеточную структуру и встречается порой в виде обломков линз или вытянутых участков различной ширины (рис. 2).

Таким образом, проведено исследование петрографического состава 5 образцов бурых углей различных месторождений. Установлено, что наименьшим показателем отражения витринита обладает образец бурого угля Итатского месторождения ($R_{o,r} = 0.388\%$), максимальной величиной характеризуется бурый уголь Кангаласского месторождения ($R_{o,r} = 0.490\%$). Увеличение генетической зрелости исследованных образцов связано с изменением технологических свойств их органической массы. Показано, что с ростом $R_{o,r}$ увеличивается содержание углерода, снижается выход летучих веществ, а также атомное отношение Н/С и О/С.

Визуальный анализ аншлифов позволил определить мацеральный состав исследуемых углей. В образце бурого угля Багануурского месторождения (Монголия) выявлено наибольшее содержание инертинита (более 60%), в образце Кангаласского месторождения содержится наибольшее количество мацералов группы витринита (86%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев, Б.М. Уголь мира. Т.1. – М.: Горная книга, 2007. – 309 с.
2. Лиштван, И.И. Перспективы глубокой переработки твердых горючих ископаемых Беларуси / И.И. Лиштван, В.М. Дударчук, В.М. Крайко // Химия твердого топлива, 2017. – №5. – С. 3-9.
3. Вязова, Н.Г. Состав и свойства бурых углей Бодонского месторождения Бурятии / Н.Г. Вязова, Л.П. Шаулина, А.Ф. Шмидт // Химия твердого топлива, 2018. – №2. – С. 3-5.
4. Джумаян, Н.Р. Исследование бурых углей Мугунского месторождения методом дериватографического анализа / Н.Р. Джумаян, А.В. Наставкин // Химия твердого топлива, 2018. – №4. – С. 11-15.
5. Артемьев, В.Б. Петрография углей и их эффективное использование / В.Б. Артемьев, И.В. Еремин, С.Г. Гагарин. – М.: Недра коммуникайшенс ЛТД, 2000. – 334 с.
6. Еремин, И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И.В. Еремин, А.С. Арцер, Т.М. Броневец. – Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
7. Yuxin, Yan. Separation and analysis of maceral concentrates from Victorian brown coal / Yuxin Yan, Ying Qi, Marc Marshall, W. Roy Jackson, Alan L. Chaffee // Fuel, 2019. – V.242. – P. 232-242.

8. The evolutionary route of coal matrix during integrated cascade pyrolysis of a typical low-rank coal / Xiongchao Lin [et. s.]. – Applied Energy, 2017. – V. 199. – P. 335-346.
9. Ronald W.T. RaMM (Raman maturity method) study of samples used in an interlaboratory exercise on a standard test method for determination of vitrinite reflectance on dispersed organic matter in rocks / Ronald W.T. Wilkins, Neil Sherwood, Zhongsheng Li // Marine and Petroleum Geology, 2018. – V. 91. – P. 236-250.
10. Миронов, К.В. Справочник геолога-угольщика. – М.: Недра, 1991. – 363.
11. Патраков, Ю.Ф. О возможных путях комплексной переработки низкосортных углей и углеотходов Кузбасса / Ю.Ф. Патраков, Н.И. Федорова // Уголь, 2000. – №2. – С. 60-61.
12. Первухин, О.В. Геологическое строение и характеристика угленосности восточной окраины Няня-Чумышской впадины на примере Мунайского месторождения и Шабуровского проявления бурых углей // Природные ресурсы Горного Алтая, 2009 (1). – №10. – С. 10-16.
13. Кезина, Т.В. Стратиграфия мел-палеогеновых угленосных отложений Архаро-Богучанского бурого угольного месторождения (Зейско-Буреинский осадочный бассейн) // Бюл. моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии, 2007. – Т.82. – Вып. 3. – С. 30-40.
14. О комплексной переработке угольного сырья (на примере Кангаласского месторождения) / С.Х. Лифшиц [и др.] // Наука и техника в Якутии, 2008. – Т.15. – №2. – С. 21-26.
15. Кузнецов, П.Н. Влияние минеральных веществ на реакционную способность бурого угля при паровой газификации в условиях высокого давления / П.Н. Кузнецов, С.М. Колесникова, Е.С. Каменская, Л.И. Кузнецова // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2013. – Т.1. – №6. – С. 83-94.
- Продукты термолитиза багануурского бурого угля (Монголия) / Н.И. Копылов [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития, 2015 – Т.23. – №1. – С. 39-47.

REFERENCES

1. Vorob'ev, B.M. Ugol' mira. T.1. – М.: Gornaja kniga, 2007. – 309 s.
2. Lishtvan, I.I. Perspektivy glubokoj pererabotki tverdyh gorjuchih iskopa-emyh Belarisi / I.I. Lishtvan, V.M. Dudarchuk, V.M. Krajko // Himija tverdogo topli-va, 2017. – №5. – S. 3-9.
3. Vjazova, N.G. Sostav i svojstva buryh uglej Bodonskogo mestorozhdenija Burja-tii / N.G. Vjazova, L.P. Shaulina, A.F. Shmidt // Himija tverdogo topliva, 2018. – №2. – S. 3-5.
4. Dzhumajan, N.R. Issledovanie buryh uglej Mugunskogo mestorozhdenija meto-dom derivatograficheskogo analiza / N.R. Dzhumajan, A.V. Nastavkin // Himija tverdogo topliva, 2018. – №4. – S. 11-15.
5. 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.
6. Eremin, I.V. Petrologija i himiko-tehnologicheskie parametry uglej Kuz-bassa / I.V. Eremin, A.S. Arcer, T.M. Bronovec. – Kemerovo: Pritomskoe, 2001. – 399 s.
7. Yuxin, Yan. Separation and analysis of maceral concentrates from Victorian brown coal / Yuxin Yan, Ying Qi, Marc Marshall, W. Roy Jackson, Alan L. Chaffee // Fuel, 2019. – V.242. – P. 232-242.
8. The evolutionary route of coal matrix during integrated cascade pyrolysis of a typical low-rank coal / Xiongchao Lin [et. s.]. – Applied Energy, 2017. – V. 199. – P. 335-346.
9. Ronald W.T. RaMM (Raman maturity method) study of samples used in an interlaboratory exercise on a standard test method for determination of vitrinite reflectance on dispersed organic matter in rocks / Ronald W.T. Wilkins, Neil Sherwood, Zhongsheng Li // Marine and Petroleum Geology, 2018. – V. 91. – P. 236-250.
10. Mironov, K.V. Spravochnik geologa-ugol'shika. – М.: Nedra, 1991. – 363.
11. Patrakov, Ju.F. O vozmoznyh putjah kompleksnoj pererabotki nizkosort-nyh uglej i ugleothodov Kuzbassa / Ju.F. Patrakov, N.I. Fedorova // Ugol', 2000. – №2. – S. 60-61.
12. Pervuhin, O.V. Geologicheskoe stroenie i harakteristika uglennosti vo-stochnoj okrainy Njanja-Chumyshskoj vpadiny na primere Munajskogo mestorozhdenija i Shaburovskogo projavlenija buryh uglej // Prirodnye resursy Gornogo Altaja, 2009 (1). – №10. – S. 10-16.
13. Kezina, T.V. Stratigrafija mel-paleogenovyh uglennosnyh otlozhenij Arha-ro-Boguchanskogo burougol'nogo mestorozhdenija (Zejsko-Bureinskij osadochnyj bas-sejn) // Bjul. mosk. o-va ispytatelej prirody. Otd. geologii, 2007. – Т.82. – Vyp. 3. – S. 30-40.

14. О комплексной переработке угольного сырья (на примере Кангаласского месторождения) / С.Н. Лифшиц [и др.] // Наука и техника в Якутии, 2008. – Т.15. – №2. – С. 21-26.

15. Kuznecov, P.N. Vlijanie mineral'nyh veshhestv na reakcionnuju sposobnost' burogo uglja pri parovoj gazifikacii v uslovijah vysokogo davlenija / P.N. Kuznecov, S.M. Kolesnikova, E.S. Kamenskaja, L.I. Kuznecova // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2013. – Т.1. – №6. – С. 83-94.

16. Produkty termoliza baganuurskogo burogo uglja (Mongolija) / N.I. Kopylov [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития, 2015 – Т.23. – №1. – С. 39-47.

Поступило в редакцию 01.07.2019
Received 01 July 2019