

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-204-209

УДК 661.152.2

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ БУРОГО УГЛЯ НА ВЫХОД ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

PARAMETERS' INFLUENCE OF CRUSHING BROWN COAL TO THE EXTRACTION OF HUMIC SUBSTANCES

Вотолин Константин Сергеевич¹,

инженер, аспирант, e-mail: kostvot@mail.ru

Votolin Konstantin S.¹, engineer, postgraduate

Жеребцов Сергей Игоревич¹,

зав. лабораторией доктор хим. наук, e-mail: sizh@yandex.ru.

Zherebtsov Sergey I.¹, head of laboratory, D.Sc.

Климович Михаил Юрьевич¹,

сотрудник лаборатории, ведущий инженер, e-mail: kmajk@yandex.ru.

Klimovich Mikhail Y.¹, fellow at the laboratory, leading engineer

Смотрина Ольга Васильевна¹,

сотрудник лаборатории , ведущий технолог, e-mail: smotrina.olg@yandex.ru .

Smotrina Olga V.¹, fellow at the laboratory , leading leading technologist

Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2},

член-корреспондент РАН, директор, профессор, зав. кафедрой

e-mail: IsmagilovZR@iccms.sbras.ru.

Ismagilov Zinfer R.^{1,2},

corresponding member of RAS, director, Professor, Head of the Department

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского Отделения Российской академии наук, 650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр. 18.

¹ Federal Research Center of Coal and Coal chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 18, Soviet ave., Kemerovo, 650000, Russia

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

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: Представлены данные по получению концентрированных гуминовых препаратов (ГП), полученных «сухим» и «мокрым» способом из бурого угля Тисульского месторождения. Образцы ГП охарактеризованы при помощи технического и элементного анализа, определен гранулометрический состав, площадь поверхности. Приведено описание процессов, протекающих на всех стадиях получения ГП. Установлено, что «мокрый» способ позволяет добиться более полного извлечения гуминовых кислот (ГК) из бурого угля путем увеличения площади поверхности контакта щелочи и угля.

Abstract: Obtained dates of concentrated humic preparations (HP) are presented. HP are produced by the "dry" and "wet" method from the brown coal of the Tisulsky deposit. Samples of HP are characterized by technical and elemental analysis. Granulometric and surface area are determined. The description of the processes proceeding is provided at all stages of receiving HP. The "wet" method allow to achieve fuller extraction of the humic acids (HA) from brown coal by increase surface area of the alkali and coal.

Ключевые слова: Бурый уголь, гуминовые препараты, измельчение.

Key words: brown coal, humic preparations, crushing.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается повышенный интерес к гуминовым веществам (ГВ), выраженный в расширении сырьевой базы и областей применения, методов анализа, технологий извлечения и росте числа научных публикаций [1]. Причина

интереса к ГВ – большой спектр применения в разнообразных отраслях промышленности, обусловленный особенностью их строения. Наиболее широко ГВ применяют в качестве высокоеффективного стимулятора роста растений – гуминового препарата (ГП)[2–6].

Известно, что активность протекания многих химических процессов напрямую зависит от величины поверхности обрабатываемых твердых материалов [7,8], и чем она больше, тем интенсивнее происходят химические процессы. Увеличение площади поверхности можно осуществить путем уменьшения размеров кусков твердого материала – дроблением или измельчением (размолом). Для производства концентрированного ГП необходимо в несколько этапов измельчать исходный бурый уголь, тем самым достигая максимального выхода ГК из него. Существует два основных способа измельчения частиц: «сухой» и «мокрый» [7,8].

«Мокрый» помол является наиболее предпочтительным вследствие достижения максимальной тонины помола. Данный метод также обладает следующими преимуществами:

1) присутствие эффекта кавитации в помольных камерах;

2) наличие конвективной диффузии, которая способствует ускоренному отводу ГК от частиц угля, тем самым увеличивая скорость выщелачивания[8];

3) совмещение помола и выщелачивания в одной стадии;

4) незначительное пыление и нагрев измельчаемого материала.

В данной работе описаны технологии получения буроугольных ГП «сухим» и «мокрым» способом. Предлагаемые технологии состоят из двух основных этапов:

1) измельчение исходного бурого угля на мо-

лотковой дробилке;

2) экстракционное извлечение щелочью ГК из дробленного бурого угля с одновременным размолом в виброцентробежной трубчатой мельнице.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы ГП получены из бурого угля Тисульского месторождения (участок Кайчакский), имеющего следующие характеристики (табл.1). Гуминовые кислоты, выделенные из гуматов натрия (ГК HumNa), в аналитических целях получены по методике определения выхода свободных ГК [9] (1% раствор NaOH, 98°C, 2 часа).

Групповой состав образцов бурого угля и выделенных из него ГК определен методом ^{13}C ЯМР (CP-MAS). Данные приведены в (табл. 2).

Спектры ^{13}C ЯМР высокого разрешения в твердом теле регистрировались на приборе «Bruker Avance III 300 WB» при частоте 75 МГц и с частотой вращения образца 5 кГц. Использовалась методика кросс-поляризации с вращением под «магическим» углом.

Установлено, что биологическая активность ГК зависит от функционально-группового состава и вычисляемых структурных параметров: степени ароматичности (fa), гидрофильно-гидрофобного параметра (fh/h), и параметра, характеризующего соотношение ароматичность/алифатичность (far/al) [10,11]. Зная функционально-групповой состав, возможно прогнозировать биологическую активность ГП.

По результатам ^{13}C ЯМР (CP-MAS) спектроскопии можно рассчитать структурно-групповой

Таблица 1. Результаты технического и элементного анализа бурого угля и ГК, %
 Table 1. The results of the technical and elemental analysis of brown coal and HA, %

Образцы	W ^a	A ^d	V ^{daf}	C ^{daf}	H ^{daf}	(O+N+S) ^{daf} , по разности	(HA) _t ^{daf} , (HumNa)	(HA) _t ^{daf} , (HumK)
Бурый уголь	8,30	10,32	48,26	61,44	5,04	33,52	22,14	24,98
ГК из HumNa	3,76	1,92	н/о	59,79	3,47	36,74	–	–

Примечания. HumNa – гумат натрия; HumK – гумат калия.

Таблица 2. Интегральные величины спектральных областей ^{13}C ЯМР (CP-MAS) спектров образцов бурого угля и ГК

Table 2. The integral value of spectral regions of the ^{13}C NMR (CP-MAS) spectra of the samples of brown coal and HA

Образцы	Химический сдвиг, м.д.							Структурные параметры		
	220-187	187-165	165-145	145-108	108-90	90-48	48-5	fa	fh/h	far/al
	C=O	COOH	C _{ar} -OH	C _{ar}	C _{O-alk} -O	C _{alk} -O	C _{alk}			
Бурый уголь	1,23	2,91	12,72	53,1	0	9,19	20,84	65,8	0,35	2,19
ГК из HumNa	1,16	4,16	13,78	51,76	0	8,88	20,26	65,5	0,39	2,25

параметр каждого образца [12-14]:

степень ароматичности fa , где
 $fa = CAr-OH + CAr$;

гидрофильно-гидрофобный параметр f_{lh} , где
 $f_{lh} = (C=O + COOH(R) + CAr-OH + CO-Alk-O + CAIk-O) / (CAr + CAIk)$;

ароматичность/алифатичность far/al , где
 $far/al = (CAr-OH + CAr) / (CO-Alk-O + CAIk-O + CAIk)$.

Отработку технологии получения жидких и сухих ГП осуществляли на оборудовании опытно-экспериментального стенда отработки комплексных технологий переработки бурых углей (ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН) (табл.3).

Получение ГП осуществляли в три стадии:

1) дробление исходного бурого угля при помощи молотковой дробилки;

2) измельчение дробленного бурого угля с параллельной щелочной экстракцией ГК при помощи центробежной мельницы.

3) отделение непрореагировавшего остаточного угля от жидкого ГП на вертикальной центрифуге.

Таблица 3. Технические характеристики оборудования

Table 3. Technical characteristics of the equipment

Наименование параметра	Значение
Молотковая дробилка	
Размеры ротора, мм: диаметр	300
длина	200
Размер куска, загружаемого материала, не более, мм	50
Размер ячейки колосниковой решетки,мм	3
Частота вращения ротора, об/мин	3000
Установочная мощность, кВт	4,0
Раздробленный уголь, мм	0-3
Центробежная мельница	
Количество помольных барабанов, шт.	2
Число помольных камер в барабане, шт.	2
Диаметр, масса мелющих шаров, мм/кг:	
Первая камера	15/ 9,1
Вторая камера	10/14,6
Объём помольных камер в барабане, дм ³	
Первая камера	2,85
Вторая камера	7,12
Установленная мощность, кВт	11
Измельченный уголь, мкм	
«Сухой» способ	0–160
«Мокрый» способ	0–50

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные ГП были охарактеризованы при помощи технического и элементного анализа (табл.4). Ниже приведено подробное описание процессов, протекающих на всех стадиях получения ГП.

Первая стадия – дробление, общая для «мокрого» и «сухого» способа. Бурый уголь размером не более 50 мм подают в загрузочную воронку молотковой дробилки. Уголь, попадая в зону дробления, контактирует с ударными элементами дробилки, в результате чего происходят повторные удары частиц о стенки корпуса. Частицы измельчаются до тех пор, пока не станут меньше отверстий в колосниковой решетке (табл.3). Частота вращения ротора – 3000 об/мин. В результате получаем дробленый бурый уголь с размером частиц 0–3мм (табл. 5).

Вторая стадия – измельчение и щелочная экстракция ГК «сухим» способом. Для получения сухого ГП ранее дробленый бурый уголь загружается в питатель центробежной мельницы с добавкой чешуированного NaOH в соотношении 4:1. Происходит тонкое измельчение частиц угля и щелочи мелющими телами – металлическими шарами: в первой секции диаметром 15мм, во второй – 10мм. Измельчение происходит за счет суммарного воздействия вибро-ударных, раздавливающих и истирающих нагрузок. Производительность мельницы напрямую зависит от количества подаваемого материала и частоты колебаний барабанов (7,5 Гц). В результате получаем сухой ГП в виде порошка (табл.4), который может использоваться в качестве стимулятора роста растений или в других отраслях промышленности.

Третья стадия – измельчение и щелочная экстракция ГК «мокрым» способом. Жидкий ГП получаем путем измельчения и перемешивания дробленого бурого угля, NaOH и воды в массовом соотношении 4:1:40 соответственно. Дробленный бурый уголь (0–3мм) и NaOH из питателя поступают в загрузочную секцию, на входе которой смешиваются с водой. Образованная суспензия проходит через мелющие секции, в которых происходит измельчение частиц угля. Дополнительно к процессам, характерным «сухому» помолу, «мокрый» помол усиливается элементами кавитационного воздействия. При мокром помоле мельница предусматривает рецикл суспензии через барабаны. Частота колебания барабанов – 6,25Гц. Остаточный уголь отделяем при помощи вертикальной центрифуги, далее он может использоваться как сырье для получения гранулированных гуматных удобрений. На выходе получаем готовый к применению жидкий ГП с содержанием HumNa 2,74%.

Процесс измельчения частиц угля происходит одновременно с выщелачиванием, тем самым позволяя вновь образованным поверхностям контакта угля взаимодействовать со щелочью. Данный процесс значительно сокращает время извлечения ГК в сравнении с обычной технологией, предусматривающей три дискретных стадии: дробление угля; измельчение угля; щелочная экстракция ГК из измельчённого бурого угля.

Таблица 4. Результаты технического и элементного анализа полученных ГП, ГК и остаточного угля, %
 Table 4. The results of the technical and elemental analysis of the obtained HP, HA and residual coal, %

Образцы	W ^a	A ^d	C ^{daf}	H ^{daf}	(O+N+S) ^{daf} , по разности	(HA) ^{daf} , (HumNa)
Сухой ГП	7,52	32,47	69,33	5,4	25,27	20,35
ГК из сухого ГП	5,22	1,67	64,51	4,01	31,48	—
У _{ост} сухого ГП	9,34	20,76	67,52	5,4	27,08	—
ГК из жидкого ГП	6,11	1,06	56,13	5,08	38,79	—
У _{ост} жидкого ГП	11,82	27,35	53,66	5,96	40,38	—

Таблица 5. Содержание фракции от общей массы, %
 Table 5. The contents of the fractional of the total mass. %

Образцы	Фракции частиц на сите, мкм						
	0–50	50–100	100–160	160–200	200–500	500–1000	1000–3000
Уголь после дробилки	9,4	6,1	8,0	6,0	28,7	34,7	7,2
У _{ост} сухого ГП	75,8	11,1	10,8	1,5	0,7	0,03	0,01
У _{ост} жидкого ГП	92,5	2,3	1,3	1,4	0,8	0,4	0,1

Для оценки степени измельчения частиц после каждой стадии был определен гранулометрический состав следующих проб (табл.5): уголь после молотковой дробилки; сухой ГП, промытый водой от щелочи и ГК (У_{ост} сухого ГП); остаточный уголь, отделенный от жидкого ГП на центрифуге (У_{ост} жидкого ГП). Ситовый анализ проводили согласно ГОСТ [15].

Определена площадь удельной поверхности на каждом этапе измельчения (табл. 6). Так число частиц в 1г дисперсной системы равно отношению массы навески (1г) к массе одной частицы [16]:

$$N = \frac{m}{\rho v} = \frac{6m}{\rho \pi d^3}$$

где m – масса пробы, г; ρ – истинная плотность угля, г/см³; v – объём одной частицы, см³; d – диаметр частицы, см.

Частицы угля принимаем сферической формы. Диаметр частицы каждой фракции d равен полу- сумме максимального d_{max} и минимального d_{min} диаметра частиц. Плотность угля приняли равным 1,25 [17,18].

Площадь поверхности одной частицы вычисляется по формуле:

$$S = \pi d^2$$

Площадь удельной поверхности частиц в 1г одной фракции вычисляется как произведение площади поверхности одной частицы на количество частиц:

$$S_y = NS$$

Общая удельная поверхность частиц вычисляется как сумма поверхностей каждой фракции с учетом их процентного содержания в образце:

$$S_{общ} = \frac{S_{y1}x_1 + S_{y2}x_2 + \dots + S_{yn}x_n}{100}$$

где S_{yp} – удельная поверхность частиц угля определенной фракции, см²/г; x_n – содержание данной фракции в образце, %.

Таблица 6. Эффективность «мокрого» и «сухого» помола.

Table 6. The effectiveness of "wet" and "dry" crushing.

Образец	Удельная поверхность частиц угля, см ² /г	Выход ГК в расчете на исходный уголь, %
Уголь после дробилки	328	—
У _{ост} сухого ГП	1571	25,43
У _{ост} жидкого ГП	1801	29,48

ВЫВОДЫ

По результату ситового анализа содержание фракции 0–50 мкм «мокрого» помола на 16,7% больше «сухого», что свидетельствует о более высокой эффективности измельчения и образования новых поверхностей выщелачивания ГК. Установлено, что применение «мокрого» помола способствует увеличению удельной поверхности частиц угля в сравнении с «сухим» помолом на 14,6%. Благодаря этому удается добиться более полного выхода ГК из бурого угля. Для «сухого» способа выход ГК в расчете на исходный уголь – 25,43%, а для «мокрого» – 29,48%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вотолин К. С. Технологии получения комплексных гранулированных гуматных удобрений и эффективность их применения / К. С. Вотолин, С. И. Жеребцов, З. Р. Исмагилов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 6. – С. 169-177.
2. Состав и биологическая активность гуматов бурого угля как стимуляторов роста сельскохозяйственных культур / С. И. Жеребцов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 102-106.
3. Гуминовые вещества бурых углей и перспективы их применения в рекультивации / С. И. Жеребцов [и др.] // Разработка комплекса технологий рекультивации техногенно нарушенных земель: материалы Всероссийской научной конференции. Кемерово. – 2011. – С. 20-23.
4. Влияние гуминовых препаратов на процесс прорастания и активность амилолитических ферментов семян *Sinapis alba* L. / О. А. Неверова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – №6. – С. 43-46.
5. Оценка эффективности применения гуматов Na и K в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных культур в условиях техногенных ландшафтов / Д. А. Соколов [и др.] // Вестник НГАУ. – 2012. – №3 (24). – С. 25-30.
6. Жеребцов С. И. Нетопливное использование Итатского бурого угля // Опыт и перспективы научно-исследований технологий в угольной промышленности Кузбасса: материалы научно-технической конференции. Кемерово. –1998. – С. 258–262.
7. Щупляк И.А. Измельчение твердых материалов в химической промышленности. – Л.: Химия, 1972. — 64 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы. –1961. – 832 с.
9. ГОСТ 9517-94: Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот.
10. Вотолин К. С. Получение и оценка биологической активности комплексных гранулированных гуматных удобрений / К. С. Вотолин, С. И. Жеребцов, О. В. Смотрина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2017. – № 25. – С. 351-356.
11. Влияние факторов выщелачивания на структурные параметры гуминовых кислот сажистого бурого угля / М. Ю. Климович [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – С. 111-117.
12. Структурно-групповой состав гуминовых кислот бурых углей и их физиологическая активность / С. И. Жеребцов [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – № 23. – С. 439-444.
13. Калабин Г.А. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки / Г.А. Калабин, Л.В. Каницкая, Д.Ф. Кушнарев. – М.: Химия, – 2000. – 408 с.
14. Kalaitzidis S., Georgakopoulos A., Christianis K., Iordanidis A. Early coalification features as approached by solid state ^{13}C CPMAS NMR spectroscopy // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2006. – vol.70. – P. 947- 959
15. ГОСТ 2093-82: Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава.
16. Поверхностные явления и дисперсные системы. Коллоидная химия. Сборник примеров и задач: учебное пособие для студентов ХТФ, ФТФ, ЭЭФ, ИГНД и ИДО. / Е.В. Михеева, Н.П. Пикула, С.Н. Карбанинова. – Томск: Изд-во ТПУ, –2008. – 116 с.
17. Аронов, С. Г. Химия твердых горючих ископаемых: учеб. пособие / С.Г. Аронов, Л. Л. Нестренко. –Харьков: Изд-во Харковского ун-та, –1960. –371 с.
18. Русчев Д.Д. Химия твердого топлива. – Л.: Химия, –1976. – 256 с.

REFERENCES

1. Votolin K. S., Zherebtsov S. I., Ismagilov Z. R. Tekhnologii polucheniya kompleksnykh granulirovannykh gumatnykh udobreniy i effektivnost' ikh primeneniya [Technologies of production of complex granular fertilizers and efficiency of their application]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik of Kuzbass State Technical University]. 2016. No. 6. pp. 169-177.
2. Zherebtsov S.I., Malyshenko N.V., Lyrshchikov S.YU., Ismagilov Z.R., Neverova O.A., Sokolov D.A., Bykova S.L., Isachkova O.A., Pakul' V.N., Lapshinov N.A. Sostav i biologicheskaya aktivnost' gumatov burego ugliya kak stimulyatorov rosta sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Composition and biological activity of humates brown coal as growth promoters of agricultural structures]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik of Kuzbass State Technical University]. 2014. No. 5. pp. 102-106.
3. Zherebtsov S.I., Ismagilov Z.R., Sokolov D.A., Korniyasova N.A., Neverova O.A. Guminovye veshchestva burykh ugley i perspektivy ikh primeneniya v rekul'tivatsii. Razrabotka kompleksa tekhnologiy reku-

l'tivatsii tekhnogenno narushennykh zemel': materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. Kemerovo. 2011. pp. 20-23.

4. Neverova O. A., Egorova I. N., Zhrebtssov S. I., Ismagilov Z. R. Vliyanie guminovykh preparatov na protsess prorastaniya i aktivnost' amiloli-ticheskikh fermentov semyan Sinapis alba L. [Effect of humic formulations on germination process and amylolytic enzymes activity of sinapis alba l. seeds]. Bulletin of altai state agricultural university. No.6. 2013. pp. 43-46.

5. Sokolov D.A., Bykova S.L., Nechaeva T.V., Zhrebtssov S.I., Ismagilov Z.R. Otsenka effektivnosti primeneniya gumatov Na i K v kachestve stimulyatorov rosta sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyah tekhnogennykh landshaftov. Vestnik NSAU. – 2012. – №.3 (24). pp. 25-30.

6. Zhrebtssov S. I. Netoplivnoe ispol'zovanie Itatskogo burego uglya // Opty i perspektivy naukoemkikh tekhnologiy v ugol'noy promyshlennosti Kuzbassa: materialy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Kemerovo. 1998. pp. 258–262.

7. Shchuplyak I.A. Izmel'chenie tverdykh materialov v khimicheskoy promyshlenno-sti. Saint-Petersburg. Khimiya. 1972. 64 p.

8. Kasatkin A. G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. Moscow. Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo khimicheskoy literatury. 1961. 832 p.

9. GOST 9517-94: Toplivo tverdoe. Metody opredeleniya vykhoda guminovykh kis-lot.

10. Votolin K.S., Zhrebtssov S. I., Smotrina O. V. Poluchenie i otsenka biologicheskoy aktivnosti kompleksnykh granulirovannykh gumatnykh udobreniy. [Production and assessment of biological activity of granular complex humic fertilizers]. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. [Chemistry for Sustainable Development]. 2017. No. 25. pp. 351-356.

11. Klimovich M. Y., Zhrebtssov S. I., Smotrina O. V., Ismagilov Z. R. Vliyanie faktorov vyshchelachivaniya na strukturnye parametry guminovykh kislot sazhistogo burego uglya [Influence of factors alkaline extraction on the structural parameters of humic acids of sooty brown coal]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. [Vestnik of Kuzbass State Technical University]. 2016. No. 3. pp. 111-117.

12. Zhrebtssov S.I., Malyshenko N.V., Smotrina O.V., Iyrshchikov S. Y., Bryukhovetskaya I.V., Ismagilov Z.R. Strukturno-gruppovoy sostav guminovykh kislot burykh ugley i ikh fiziologi-cheskaya aktivnost'[Structural group composition of humic acids in brown coal and their physiological activity]. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. [Chemistry for Sustainable Development]. 2015. No. 23. pp. 439-444.

13. Kalabin G.A. Kolichestvennaya spektroskopiya YaMR prirodnogo organicheskogo syr'ya i produktov ego pererabotki / G.A. Kalabin, L.V. Kanitskaya, D.F. Kushnarev. Moscow. Khimiya. 2000. 408 p.

14. Kalaitzidis S., Georgakopoulos A., Christianis K., Iordanidis A. Early coalification features as approached by solid state ^{13}C CPMAS NMR spectroscopy // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2006. vol. 70. pp. 947- 959

15. GOST 2093-82: Toplivo tverdoe. Sitovyy metod opredeleniya granulometricheskogo sostava.

16. Mikheeva E.V., Pikula N.P., Karbainova S.N. Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy. Kolloidnaya khimiya. Sbornik primerov i zadach: uchebnoe posobie dlya studentov KhTF, FTF, EEF, IGND i IDO. Tomsk. TPU. 2008. 116 p.

17. Aronov, S. G. Nesterenko L. L. Khimiya tverdykh goryuchikh iskopaemykh: ucheb. Posobie. Khar'kov. Izd-vo Kharkovskogo un-ta. 1960. 371 p.

18. Ruschev D.D. Khimiya tverdogo topliva. Saint-Petersburg. Khimiya. 1976. 256 p.

Поступило в редакцию 30.09.2017

Received 30.09.2017