

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-61-67

УДК 539.217.1

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛУКОКСОВ НА ОСНОВЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

METHOD OF DETERMINING THE POROUS STRUCTURE PARAMETERS OF SEMI-COKES BASED ON FOSSIL COALS

Дудникова Юлия Николаевна²,

кандидат хим. наук, научный сотрудник,

e-mail: dudnikova.yuliya80@mail.ru

Yuliya N. Dudnikova ², candidate of chemistry science, researcher,

Созинов Сергей Анатольевич²,

кандидат физ.-мат. наук,

e-mail: sozinov71@mail.ru

Sergey A. Sozinov ², candidate of math and physics science,

Козлов Алексей Петрович^{1,2},

кандидат хим. наук, доцент, e-mail: KozlovAP@kuzstu.ru

Alexey P. Kozlov ^{1,2}, candidate of chemical science, assistant professor,

Федорова Наталья Ивановна²,

кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник,

e-mail: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

Natalia I. Fedorova ², candidate of chemistry science, leading researcher,

Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2},

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

Zinfer R. Ismagilov ^{1,2}, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences,

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (Институт углехимии и химического материаловедения), 650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18

²Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS (Institute of coal chemistry and materials science), 18 av. Soviet, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: В работе представлены методические аспекты проведения измерения параметров пористой структуры полукоксов, полученных на основе ископаемых углей, на анализаторе ASAP 2020 «Micromeritics». Определены текстурные характеристики полукоксов, такие как, величины удельной поверхности, общего объема пор, объема микро- и мезопор исследуемых образцов. Текстурные характеристики полукоксов были рассчитаны различными методами (BET, DFT, t-Plot, BJH) по изотермам низкотемпературной (77K) адсорбции-десорбции азота, полученным с помощью анализатора ASAP 2020 «Micromeritics».

Ключевые слова: Полукоксы, удельная поверхность, микропоры, мезопоры

Abstract: The paper presents methodological aspects of the porous structure measuring parameters on the analyzer ASAP 2020 "Micromeritics" for semi-cokes obtained from fossil coals. The textural characteristics of the semi-cokes are determined, such as specific surface area; total pore volume; micro- and mesopore volume of the samples. The textural characteristics of the semi-coke were calculated by various methods (BET, DFT, t-Plot, BJH) from the nitrogen adsorption-desorption isotherms at low temperature (77K) obtained by the ASAP 2020 «Micromeritics» analyzer software.

Key words: *Semi-cokes, specific surface area, micropores, mesopores*

Введение

Для углеграфитовых материалов, представляющих собой твердые углеродные остатки пиролиза, общим характерным признаком служит наличие пустот или пор с широким спектром размеров, в котором может иметь место преобладание одной или нескольких групп пор с близкими размерами. Анализ литературных данных показал [1-4], что при исследовании свойств кокса большое внимание уделяется изучению его пористой структуры, так как она, прежде всего, определяет его реакционную способность в различных технологических процессах. Однако следует отметить, что публикации по исследованию пористой структуры полукоксов встречаются реже. Хотя исследования в данном направлении очень важны, так как позволяют прояснить закономерности трансформации пористой структуры в процессе коксования. Кроме того, результаты подобного рода исследований необходимы для совершенствования технологических процессов получения углеродных сорбентов на основе каменных углей, так как традиционные технологии их производства включают стадию карбонизации исходного материала, в результате которой создается первичная пористая структура и стадия активации карбонизованного остатка, где происходит дальнейшее развитие структуры пор.

В этой связи актуален вопрос о проведении исследований параметров пористой структуры полукоксов современными методами с использованием новейшего аналитического и научно-исследовательского оборудования, например, анализатора ASAP 2020 «Micromeritics».

Основными параметрами пористой структуры являются - суммарный объем (сумма объемов пор всех разновидностей, см³/г); предельный объем сорбционного пространства, представляющий собой сумму объемов сорбирующих пор ($V_{\text{микро}} + V_{\text{мезо}}$, см³/г); размер пор (ширина, диаметр, нм) [5-7], по величинам которых можно определять области дальнейшего использования полукоксов, например, для получения углеродных сорбентов.

Следует отметить, что ГОСТа на определение удельной поверхности и параметров пористой структуры полукоксов на основе ископаемых углей не существует. Поэтому, для определения текстурных характеристик полукоксов на анализаторе ASAP 2020 «Micromeritics» была применена методика измерения пористой структуры углеродных сорбентов, приведенная в работе [8]. Однако, условия измерения изотерм адсорбции-десорбции азота, подобранные для углеродных сорбентов, не позволили получить достоверные результаты о пористой структуре полукоксов. В связи с этим, необходимо было адаптировать существующую методику для измерения параметров пористой структуры полукоксов на данном анали-

заторе, в частности подобрать температуру и время предварительной подготовки (сушки) исследуемых образцов, а также температуру их последующей дегазации в порту прибора.

Для определения температур предварительной подготовки (сушки) и дегазации исследуемых образцов полукоксов был применен термогравиметрический анализ, проведенный в инертной атмосфере в интервале температур 20 – 900°C со скоростью нагрева 10 °/мин. Анализ полученных термограмм показал, что потеря массы образцами, связанная с выделением влаги, наблюдается в интервале температур 60-180°C. В интервале температур 180-350°C потеря массы незначительна и составляет величину не более 1,5%. При более высоких температурах (400-850°C) происходит основная потеря массы исследуемыми образцами, обусловленная деструкцией углерод-углеродных связей с выделением летучих продуктов и формированием тела кокса. Потеря массы в данном температурном интервале составляет величину порядка 15%. Согласно выявленным особенностям термогравиметрического анализа было принято: сушку образцов полукоксов осуществлять при температуре 150°C, а дегазацию в порту прибора проводить при 350°C.

Методика проведения измерений параметров пористой структуры

В представленной работе исследование параметров пористой структуры проводили на анализаторе ASAP 2020 «Micromeritics». На первом этапе работы отбирали пробу (согласно ГОСТ Р ИСО 18283-2010) с крупностью частиц 0,2 - 0,5 мм. Поскольку, образцы перед измерением в обязательном порядке подвергаются дегазации в вакууме при нагреве и при этом не должно выделяться токсичных или загрязняющих прибор веществ, поэтому проба для испытания должна находиться в воздушно-сухом состоянии. Для этого высушивали образцы полукоксов в сушильном шкафу при 150±5°C до постоянной массы.

На следующем этапе работы необходимо было подобрать навеску образца полукокка, которая бы позволила регистрировать воспроизводимые изотермы адсорбции-десорбции азота. Согласно инструкции по эксплуатации прибора навеску пробы необходимо отбирать следующим образом: минимальное необходимое количество неизвестного образца 1 г (в случае если удельная поверхность образца более 150 м²/г, то минимальное количество 0,2 г, если удельная поверхность превышает 300 м²/г, то минимальное количество 0,1 г); максимальное количество образца – 3 - 7г (в зависимости от насыпной плотности материала). По литературным данным [9-12] удельная поверхность полукоксов, полученных из различного углеводородного сырья, составляет величину от 100 до 500

Таблица 1. Параметры пористой структуры полукоксов
Table 1. Parameters of porous structure of semi-cokes

№ Образца	Образец	$S_{\text{ВЕТ}}$, $\text{м}^2/\text{г}$	V_{Σ} , $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{\text{микро}}$, $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{\text{мезо}}$, $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{\text{макро}}$, $\text{см}^3/\text{г}$	Относительное со- держание микро - и мезопор, %		D_{pores} , \AA
							$V_{\text{микро}}/V_{\Sigma}$	$V_{\text{мезо}}/V_{\Sigma}$	
1	Полукок №1	76	0,04	0,02	0,01	0,01	50,0	25,0	22,3
2	Полукок №2	156	0,07	0,04	0,004	0,026	57,1	5,7	18,0
3	Полукок №3	287	0,13	0,08	0,01	0,04	61,5	7,7	18,4
4	Полукок №4	328	0,16	0,08	0,03	0,05	50,0	18,7	19,9
5	Полукок №5	430	0,21	0,11	0,05	0,05	52,4	23,8	20,2

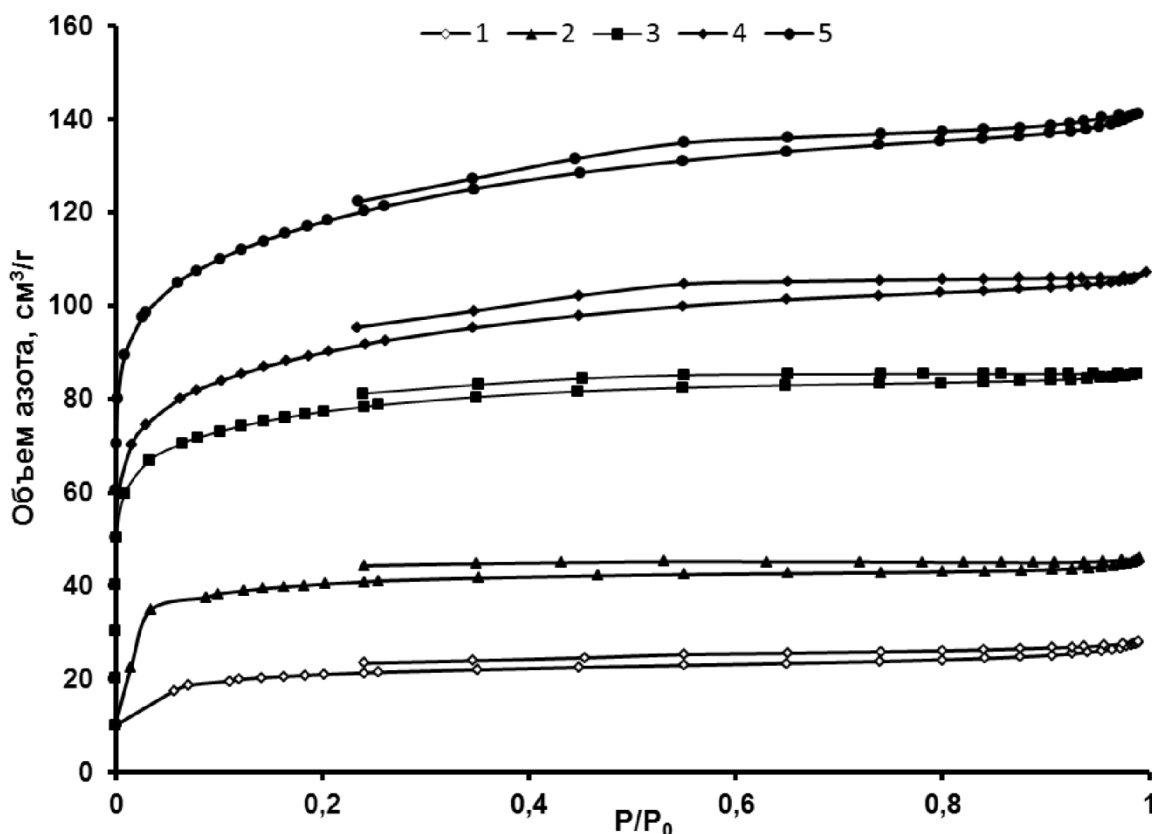


Рис. 1. Изотерма адсорбции – десорбции азота при 77K образцами ПК:
1- полукок №1; 2- полукок №2; 3 - полукок №3;
4 - полукок №4; 5 - полукок №5.

Fig. 1. Nitrogen adsorption-desorption isotherms at 77 K of semi-cokes:
1 - semi-coke No. 1; 2 - semi-coke No. 2; 3 - semi-coke No. 3;
4 - semi-coke No. 4; 5 - semi-coke No. 5.

$\text{м}^2/\text{г}$. Поэтому для определения массы образца полукоксов, необходимой для регистрации изотерм адсорбции-десорбции азота, была проведена серия измерений параметров пористой структуры с массой навески $m = 0,5 \pm 0,1\text{г}$; $0,8 \pm 0,1\text{г}$; $1,1 \pm 0,1\text{г}$. В результате проведённых измерений было установлено, что для регистрации воспроизводимых изотерм адсорбции-десорбции азота и вычисления достоверных параметров пористой структуры

необходимо использовать навеску полукоксов массой $m = 0,8 \pm 0,1\text{г}$. Далее навеску полукоксов взвешивали на аналитических весах непосредственно в ампуле для образца, предназначенной для проведения исследования. Затем ампулу с исследуемым образцом устанавливали в порт предварительной подготовки и дегазировали в вакууме при температуре 350°C (скорость нагрева составляла $10^\circ\text{C}/\text{мин.}$) в течение 15 часов до остаточного

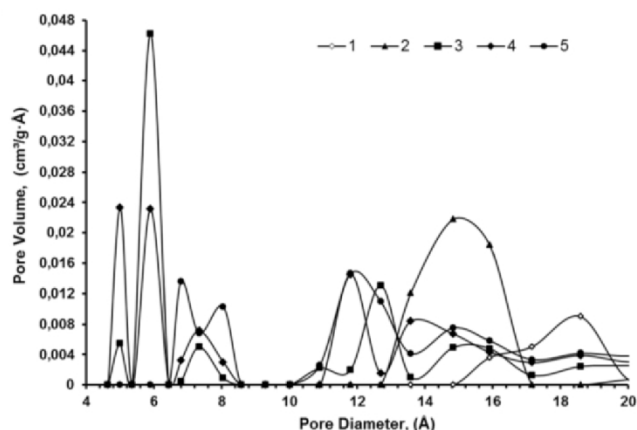


Рис. 2. Кривые распределения микропор в образцах ПК:
1 - полукок №1; 2 - полукок №2; 3 - полукок №3;
4 - полукок №4; 5 - полукок №5.

Fig. 2. Distribution curves of micropores in samples of semi-cokes: 1 - semi-coke No. 1; 2 - semi-coke No. 2; 3 - semi-coke No. 3;
4 - semi-coke No. 4; 5 - semi-coke No. 5.

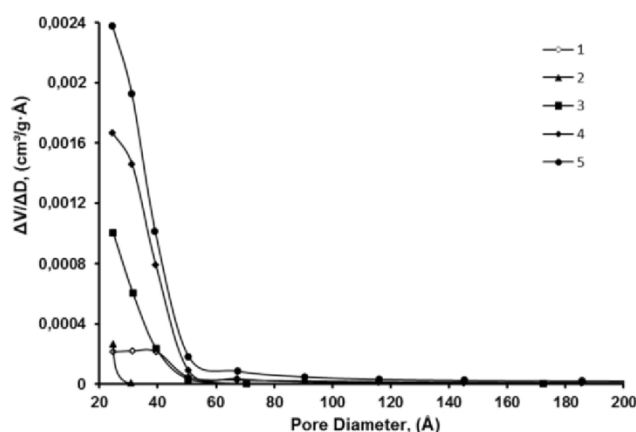


Рис. 3. Кривые распределения мезопор в образцах ПК:
1 - полукок №1; 2 - полукок №2; 3 - полукок №3;
4 - полукок №4; 5 - полукок №5.

Fig. 3. Distribution curves of mesopores in samples of semi-cokes:
1 - semi-coke No. 1; 2 - semi-coke No. 2; 3 - semi-coke No. 3;
4 - semi-coke No. 4; 5 - semi-coke No. 5.

го давления не менее 5×10^{-3} мм.рт.ст. (Температура дегазации также была подобрана исходя из данных термогравиметрического анализа образцов полукоксов).

На следующем этапе работы, после завершения дегазации, ампулу с исследуемым образцом повторно взвешивали на аналитических весах. Далее ампулу с исследуемым образцом устанавливали в измерительный порт прибора и для регистрации изотермы адсорбции-десорбции азота указывали следующие параметры:

- значение массы образца в ампуле;

- интервал относительных давлений: адсорбционная ветвь 0,010-0,995 с шагом 0,025, десорбционная ветвь – 0,995-0,010 с шагом 0,025;

- необходимость проведения быстрой дегазации и проверки на течь;

- давление и время дегазации;

- измерение свободного объема;

- измерение давления насыщения образца (P_0) во время проведения анализа;

- режим пошагового дозирования при низком давлении 10 см³/г;

- время достижения равновесия составляет 15 - 30 секунд;

- заполнение ампулы азотом после измерений;

- параметры составления отчета исследования.

Проводили три параллельных измерения одного образца для установления сходимости результатов. Величину удельной поверхности исследуемых образцов получали из анализа изотерм адсорбции-десорбции N₂ при -196°C (77K). Измерения изотерм адсорбции-десорбции азота проводили в области равновесных относительных давлений паров от 10^{-3} до 0,995 P/P₀. Далее из полученных в результате измерений изотерм адсорбции-десорбции азота образцами полукоксов определяли их текстурные характеристики. Удельную поверхность пор рассчитывали по методу Брунауэра-Эммета-Тейлора (BET). Объем микропор определяли с помощью сравнительного метода t-Plot и теории функционала плотности (DFT – метода). Объем мезопор определяли с помощью метода Баррета-Джойнера-Халенды (BJH). Средний диаметр пор оценивали по формуле $D_{cp} = 4V_{адс}/S$, по методу BET. Объем мезопор рассчитывали из распределения мезопор по размерам (метод BJH). Ошибка измерений составляет 5-7%.

Результаты и обсуждение

В результате проведения исследования пористой структуры полукоксов, полученных на основе ископаемых углей, с использованием анализатора ASAP 2020 «Micromeritics» были рассчитаны основные параметры пористой структуры полукоксов, полученные на основании трех параллельных измерений изотерм адсорбции-десорбции азота одного исследуемого образца: удельная поверхность пор (S_{BET} , м²/г), общий объем пор (V_{Σ} , см³/г), объем микро - ($V_{микро}$, см³/г) - и мезопор ($V_{мезо}$, см³/г), а также средний диаметр пор (D_{pores} , Å), которые представлены в таблице 1.

На рисунке 1 представлены изотермы адсорбции-десорбции азота образцами всех исследуемых

полукоксов. На рисунках 2 и 3 представлены кривые распределения микро- (рассчитанные методом DFT) и мезопор (рассчитанные методом ВЖН) по размерам в образцах исследуемых полукоксов.

Изотермы адсорбции характеризуют пористую структуру материала и позволяют определить ряд ее свойств. Наибольшей адсорбционной емкостью по азоту в области низких относительных давлений обладает образец полукокса №5, что свидетельствует о более высоких значениях величины удельной поверхности по сравнению с другими образцами. Внешний вид изотерм адсорбции азота образцами всех полукоксов можно отнести к изотермам I типа по классификации IUPAC [13-15], что указывает на наличие в их пористой структуре достаточного количества микропор (Табл. 1).

Следует отметить, что на всех изотермах наблюдается петли капиллярно-конденсированного гистерезиса, по внешнему виду которого можно судить о формах пор и типу пористой структуры исследуемых образцов [16]. На представленных изотермах адсорбции – десорбции азота образцами ПК петли гистерезиса по классификации IUPAC можно отнести к типу H4, что говорит о наличии в структуре пор щелевидной формы и свидетельствует о развитой микропористой системе при относительно невысоком объеме пор других размеров. Таким образом, формирование пористой структуры полукоксов происходит за счет образования преимущественно микропор (Табл. 1). Наибольшее содержание микропор (более 60%) определено в образце ПК №3.

Анализ полученных кривых распределения микропор по размерам, рассчитанных методом DFT (теории функционала плотности) показал (Рис. 2), что кривые распределения имеют полимодальный характер и демонстрируют три выраженные области микропор: 5-7 Å (область ультрамикропор); 7-9 Å и 10-20 Å (область супермикропор). Следует отметить, что наибольшим количе-

ством ультрамикропор обладает образец ПК №3, а в образце ПК №2 преобладают супермикропоры диаметром 14,8 Å. Таким образом, для всех исследуемых полукоксов микропоры не однородны и имеют широкое распределение по размерам (5-20 Å).

Согласно представленным кривым распределения мезопор (Рис. 3), можно отметить, что для всех полукоксов формирование мезопористого пространства происходит в основном за счет мелких мезопор с диаметром 20-50 Å (с максимумом на кривых распределения пор по размерам - 25 Å). Следует отметить, что образец ПК №5 обладает более широким распределением пор по размерам за счет вклада мезопор с диаметром 50-70 Å, что можно объяснить большим объемом мезопор для этого образца ПК.

Таким образом, полученные результаты исследования пористой структуры полукоксов позволяют выявлять особенности трансформации пористой структуры в процессах коксования и усовершенствовать технологические процессы получения углеродных сорбентов на основе каменных углей.

Заключение

Таким образом, описанная в работе методика измерения характеристик пористой структуры полукоксов, с использованием автоматического анализатора ASAP 2020 «Micromeritics» позволяет регистрировать изотермы адсорбции и получать текстурные характеристики полукоксов (удельная поверхность, общий объем пор, объем микро- и мезопор), по которым можно определять сферу их дальнейшего применения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (проект АААА-А17-117041910151-9).

При выполнении работы использовалось оборудование ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошниченко, Д. В. Реакционная способность кокса: способы измерения и факторы влияния / Д. В. Мирошниченко, М. Л. Улановский // Кокс и химия, 2004. - №5. - С.21-31.
2. Звягинцева, Е. В. Реакционная способность коксов / Е. В. Звягинцева, Г. Б. Скрипченко // Химия твердого топлива, 2000. - №6. - С. 61-72.
3. Хуань, Чэн Влияние условий эксперимента на результаты определения характеристик пор угля / Хуань Чэн, Ци Ван, Сон Чжан, Син Хань // Кокс и химия, 2015. - №9. - С. 12-23.
4. Федорова, Н. И. Пористая структура высокотемпературных коксов из каменных углей / Н. И. Федорова, Т. С. Манина, З. Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития, 2016. - Т. 24. - №3. - С. 385-391.
5. Колышкин, Д. А. Активные угли / Д. А. Колышкин, К. К. Михайлова. - Л.: «Химия», 1972. - 56 с.
6. Углеродные сорбенты из ископаемых углей: состояние проблемы и перспективы развития / М. А. Передерий // Химия твердого топлива, 2005. - №1. - С. 76-89.
7. Мухин, В. М. Активные угли России / В. М. Мухин, А. В. Тарасов, В. Н. Клишин. - М.: Метал-

лургия, 2000. – 352 с.

8. Козлов, А. П. Методические аспекты определения параметров пористой структуры углеродных сорбентов на основе ископаемых углей / А. П. Козлов, Ю. Н. Дудникова, И. Ю. Зыков, С. А. Созинов, З.Р. Исмагилов // Вестник КузГТУ, 2017. - №6. – С. 198-204.

9. Кузнецов, Б.Н. Глубокая переработка бурых углей с получением жидких топлив и углеродных материалов / Б.Н. Кузнецов [и др.]; отв. ред. Г. И. Грицко; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т химии и химической технологии, Нац. акад. наук Украины, Ин-т физ.-орг. химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко. – Новосибирск:Изд-во СО РАН, 2012.- 212с. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып.36).

10. [Yan, Chen](#) Facile and economical synthesis of porous activated semi-cokes for highly efficient and fast removal of microcystin-LR / [Yan Chen,Xiangmei Zhang](#), [Qianyi Liu](#), [Xidong Wang](#), [Ling Xu](#) // [Journal of Hazardous Materials](#), 2015. - V. 299. - № 15. - P. 325-332.

11. Терехова, Е. Н. Получение пористых углерод-минеральных материалов методом химической обработки продуктов карбонизации сапропеля / Е. Н.Терехова, А. В. Лавренов, А. В. Шилова, Т. В. Киреева, Г. Г. Савельева, М. Т. Тренихин, О. Б. Бельская // Журнал прикладной химии, 2017. – Т. 90. – Вып. 12. – С. 1663-1670.

12. Пьянова, Л. Г. Адсорбция красителей метиленового синего и метанилового желтого модифицированными углеродными сорбентами / Л. Г. Пьянова, В. А. Лихолобов, Л. К. Герунова, М. С. Дроздецкая, А. В. Седанова, Н. В. Корниенко // Журнал прикладной химии, 2017. – Т. 90. – Вып. 12. – С. 1678-1682.

13. IUPAC Reporting physisorption data for gas/solid system, Pure Appl. Chem., 57, 603 (1985).

14. S. Brunauer, L.S. Deming, W.S. Deming and E. Teller, J. Amer. Chem. Soc., 62, 1723 (1940).

15. Characterization of porous solids and powders: Surface areas, pore size and density / Lowell S [et al.] // Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2010. – V. 5. – P. 11-12.

16. Фенелонов, В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 414 с.

REFERENCES

1. Miroshnichenko, D. V. Reaktsionnaya sposobnost' koksa: sposoby izmere-niya i faktory vliyaniya / D. V. Miroshnichenko, M. L. Ulanovskiy // Koks i khimiya, 2004. - №5. – S.21-31.

2. Zvyagintseva, E. V. Reaktsionnaya sposobnost' koksov / E. V. Zvyagintseva, G. B. Skripchenko // Khimiya tverdogo topliva, 2000. - №6. – S. 61-72.

3. Khuan', Chen Vliyanie usloviy eksperimenta na rezul'taty opredeleniya kharakteristik por uglya / Khuan' Chen, Tsi Van, Son Chzhan, Sin Khan' // Koks i khimiya, 2015. - №9. - S. 12-23.

4. Fedorova, N. I. Poristaya struktura vysokotemperaturnykh koksov iz ka-mennykh ugley / N. I. Fedorova, T. S. Manina, Z. R. Ismagilov // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya, 2016. - T. 24. - №3. - S. 385–391.

5. Kolyshkin, D. A. Aktivnye ugli / D. A. Kolyshkin, K. K.Mikheylova. - L.: «Khimiya», 1972. – 56 s.

6. Uglernodnye sorbenty iz iskopaemykh ugley: sostoyanie problemy i per-spektivy razvitiya / M.A. Perederiy // Khimiya tverdogo topliva, 2005. - №1. - S. 76-89.

7. Mukhin, V. M. Aktivnye ugli Rossii / V. M. Mukhin, A. V. Tarasov, V. N. Klishin. – M.: Metallurgiya, 2000. – 352 s.

8. Kozlov, A. P. Metodicheskie aspekty opredeleniya parametrov poristoy struktury uglernodnykh sorbentov na osnove iskopaemykh ugley / A. P. Kozlov, Yu. N. Dudnikova, I. Yu. Zykov, S. A. Sozinov, Z.R. Ismagilov // Vestnik KuzGTU, 2017. - №6. – S. 198-204.

9. Kuznetsov, B.N. Glubokaya pererabotka burykh ugley s polucheniem zhidkikh topliv i uglernodnykh materialov / B.N. Kuznetsov [i dr.]; отв. ред. Г. И. Грицко; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т химии и химической технологии, Нats. акад. наук Украины, Ин-т физ.-орг. химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко. – Новосибирск:Изд-во СО РАН, 2012.- 212с. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып.36).

10. Yan, Chen Facile and economical synthesis of porous activated semi-cokes for highly efficient and fast removal of microcystin-LR / Yan Chen,Xiangmei Zhang, Qianyi Liu, Xidong Wang, Ling Xu // Journal of Hazardous Materials, 2015. - V. 299. - № 15. - P. 325-332.

11. Terekhova, E. N. Poluchenie poristykh uglernod-mineral'nykh materialov metodom khimicheskoy obrabotki produktov karbonizatsii sapropelya / E. N.Terekhova, A. V. Lavrenov, A. V. Shilova, T. V. Kireeva, G. G. Savel'eva, M. T. Trenikhin, O. B. Bel'skaya // Zhurnal prikladnoy khimii, 2017. – Т. 90. – Vyp. 12. – S. 1663-1670.

12. P'yanova, L. G. Adsorbtsiya krasiteley metilenovogo sinego i metanilo-vogo zhelтого modifitsirovannymi uglernodnymi sorbentami / L. G. P'yanova, V. A. Li-kholobov, L. K. Gerunova, M. S. Drozdetskaya, A. V. Sedanova, N. V. Kornienko // Zhurnal prikladnoy khimii, 2017. – Т. 90. – Vyp. 12. – S. 1678-1682.

13. IUPAC Reporting physisorption data for gas/solid system, Pure Appl. Chem., 57, 603 (1985).

14. S. Brunauer, L.S. Deming, W.S. Deming and E. Teller, J. Amer. Chem. Soc., 62, 1723 (1940).
15. Characterization of porous solids and powders: Surface areas, pore size and density / Lowell S [et al.] // Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2010. – V. 5. – P. 11-12.
16. Fenelonov, V. B. Vvedenie v fizicheskuyu khimiyu formirovaniya supramo-lekulyarnoy struktury adsorbentov i katalizatorov. - Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. – 414 s.

Поступило в редакцию 01.11.2018

Received 03 November 2018