



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 544

doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9020

Сравнение сорбции 4-гидроксибензальдегида активированными углями различных марок в статических условиях

Елена Сергеевна Свиридова¹, Ираида Владимировна Воронюк¹✉, Татьяна Викторовна Елисеева¹, Владимир Федорович Селеменев¹, Виктор Михайлович Мухин²

¹Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, chem.vrn@mail.ru✉

²Электростальское научно-производственное объединение «Неорганика», Электросталь

Аннотация. Применение активированных углей для извлечения веществ органической природы находят все большее распространение в различных областях промышленности. В настоящем исследовании проведено сравнение равновесных характеристик сорбции п-гидроксибензальдегида из водных растворов углями различных марок: отечественными АГ-3И, ВСК-400 (НПО «Неорганика», Россия) и зарубежным GAC 1240W (Norit, Нидерланды). В работе получены изотермы сорбции альдегида в диапазоне концентраций $5 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ при температуре 298К в статических условиях. Отмечена высокая сорбционная способность изученных образцов сорбентов по отношению к гидроксибензальдегиду. В случае сорбции на угле Norit GAC 1240W наблюдается формирование монослоя сорбата на поверхности, в области высоких концентраций наблюдается дополнительное поглощение за счет возникновения сорбат-сорбатных взаимодействий. Использование АГ-3И и ВСК-400 также сопряжено с проявлением нескольких механизмов (сорбат-сорбент и сорбат-сорбат), которые реализуются параллельно. Данные о полимолекулярной сорбции подтверждаются сравнением емкостных характеристик углей по гидроксибензальдегиду, по молекулярному йоду и метиленовому голубому.

Для описания изотерм сорбции использован формальный подход, основанный на применении линеаризованных уравнений сорбции известных теорий: Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Дубинина-Радушкевича. Отмечено, что наибольший коэффициент корреляции линейной зависимости отмечается для Norit GAC 1240W в координатах уравнения типа Ленгмюра, для АГ-3И и ВСК-400 – для уравнения сорбции типа Фрейндлиха.

Величины коэффициента распределения альдегида в системе раствор – активированный уголь указывает на его монотонное снижение с ростом концентрации сорбтива, что связано, прежде всего, со стericкими затруднениями при его диффузии в поры угля

Ключевые слова: гидроксибензальдегид, активированный уголь, изотермы сорбции

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2020-2022

годы, проект № FZGU-2020-0044». Результаты исследований частично получены на оборудовании Центра коллективного пользования Воронежского государственного университета. URL: <https://ckp.vsu.ru>

Для цитирования: Свиридова Е.С., Воронюк И.В., Елисеева Т.В., Селеменев В.Ф., Мухин В.М. Сравнение сорбции 4-гидроксибензальдегида активированными углями различных марок в статических условиях // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2022. Т. 22, № 1. С. 50-57. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9020>



Original article

Comparison of the sorption of 4-hydroxybenzaldehyde by activated carbon of different grades under static conditions

Elena S. Sviridova¹, Iraida V. Voronyuk¹✉, Tatiana V. Eliseeva¹,
Vladimir F. Selemenev¹, Viktor M. Mukhin²

¹Voronezh State University, Voronezh, Russia, chem.vrn@mail.ru✉

²Elektrostal Scientific and Production Association "Inorganic", Elektrostal, Russia

Abstract. industries. In this study, we compared the equilibrium characteristics of sorption of 4-hydroxybenzaldehyde from aqueous solutions by carbon of various grades: Russian AG-3I, VSK-400 (NPO Neorganica, Russia) and foreign GAC 1240W (Norit, the Netherlands). In this study, we obtained isotherms of aldehyde sorption in the concentration range of $5 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-2}$ mol/dm³ at a temperature of 298K under static conditions. We noted the high sorption capacity of the studied sorbent samples in relation to hydroxybenzaldehyde. In the case of sorption on Norit GAC 1240W carbon, we observed the formation of a sorbate monolayer on the surface. In areas of high concentrations additional sorption occurred due to the occurrence of sorbate-sorbate interactions. The use of AG-3I and VSK-400 grades also involved the manifestation of several mechanisms (sorbate-sorbent and sorbate-sorbate), which take place simultaneously. Data on polymolecular sorption were confirmed by comparing the capacity characteristics of the carbons by hydroxybenzaldehyde, by molecular iodine, and by methylene blue.

Sorption isotherms were described by a formal approach based on the use of linearised sorption equations of well-known theories: Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin-Radushkevich. The highest correlation coefficient of linear dependence for Norit GAC 1240W was noted in the coordinates of the Langmuir-type equation. In the case of AG-3I and VSK-400, the highest value was registered with Freundlich-type sorption equation.

The values of the distribution coefficient of aldehyde in the solution-activated carbon system indicate its monotonous decrease with an increase in the concentration of the sorbate. This is primarily due to steric hindrance during its diffusion into the pores of the carbon.

Keywords: hydroxybenzaldehyde, activated carbon, sorption isotherms

For citation: Sviridova E.S., Voronyuk I.V., Eliseeva T.V., Selemenev V.F., Mukhin V.M. Comparison of the sorption of 4-hydroxybenzaldehyde by activated carbon of different grades under static conditions. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2022. 22(1): 50-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9020>

Введение

Активированные угли (АУ) как сорбенты органических соединений являются объектом исследования в большом числе отечественных и зарубежных публикаций [1-9]. Высокий интерес к таким сорбционным материалам связан с их неоспоримыми достоинствами, к которым можно отнести универсальность и экологичность. Активированные угли ввиду больших значений удельной площади поверхности способны проявлять высокую сорбционную способность к целому ряду веществ, например, ароматическим альдегидам [1], фенолам [2], лактонам [3] и другим органическим соединениям [4-9].

Одним из практических приложений таких неорганических сорбентов может быть их использование для поглощения замещенных бензальдегидов, в том числе гидроксibenзальдегидов. В работах [10-11] проводилось исследование возможности применения активированного угля Norit GAC 1240W для извлечения 4-гидроксibenзальдегида и ванилина. Целью настоящей работы было установление равновесных характеристик сорбции 4-гидроксibenзальдегида из водных растворов с применением в качестве сорбентов не только угля зарубежной марки, но и образцов отечественного производителя.

Таблица 1. Основные физико-химические характеристики углей [15-16]
 Table 1. The main physical-chemical properties of activated carbons [15-16]

Характеристики	Сорбенты		
	АГ-3И	ВСК-400	Norit GAC 1240W
Производитель	НПО «Неорганика» (Россия)	НПО «Неорганика» (Россия)	Norit process technology B.F. (Нидерланды)
Основа	Каменный уголь	Кокосовая	Каменный уголь
Насыпная плотность, г/дм ³	523	520	470
Содержание золы, %	12-15	2.4	12

Экспериментальная часть

В настоящей работе в качестве сорбентов исследованы АУ отечественных и зарубежных производителей, их основные характеристики представлены в таблице 1. В качестве сорбата выбран п-гидроксibenзальдегид (ПГБА) (Sigma-Aldrich). Исследования проводили в статических условиях при соотношении масс сорбента и раствора 1:400 в диапазоне концентраций альдегида $5 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ при температуре 298К, скорость перемешивания 250 об/мин. Количество поглощенного сорбтива определяли по разнице концентрации исходного и равновесного растворов. Концентрацию ПГБА в растворе определяли спектрофотометрически при $\lambda=281$ нм на приборе спектрофотометр «СФ-2000».

Оценку сорбции молекулярного иода и метиленового голубого проводили по

стандартным методикам [12-14], однако не осуществляли предварительное растирание образцов и их обработку раствором соляной кислоты. Поверхность сорбентов оценивали путем анализа микрофотографий поверхности, полученных с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6380LV JEOL при увеличении в 800 раз.

Обсуждение результатов

Равновесные характеристики сорбции ПГБА активированными углями оценивали на основе анализа изотерм сорбции, представленных на рисунке 1.

Отмечено, что каждый образец характеризуется индивидуальной формой полученных зависимостей. Изотерма сорбции ПГБА сорбентом АГ-3И практически линейна, в то время как на ВСК-400 и Norit GAC 1240W виден сложный харак-

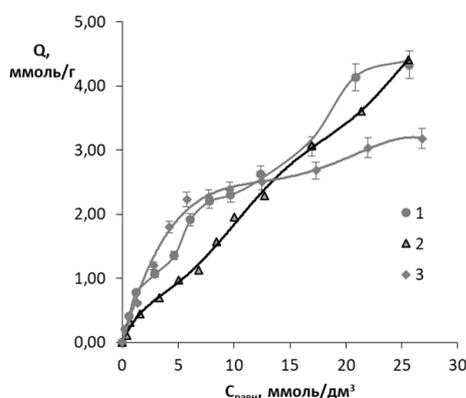


Рис. 1. Изотермы сорбции п-гидроксibenзальдегида различными активированными углями (298 К): 1 – ВСК-400, 2 – АГ-3И, 3 – Norit GAC 1240W
 Fig. 1. p-hydroxybenzaldehyde sorption isotherm by various activated carbons (298 K): 1 – VSK-400, 2 – AG-3I, 3 – Norit GAC 1240W

Таблица 2. Адсорбционная способность активированных углей по иоду и метиленовому голубому

Table 2. Adsorption capacity of activated carbons to iodine and methylene blue

Марка угля	Емкость по молекулярному иоду, ммоль-экв/г	Емкость по метиленовому голубому, ммоль/г
ВСК-400	2.02	0.11
АГ-3И	2.14	0.20
Norit GAC 1240W	2.16	0.25

тер. Отмечено, что при содержании гидроксibenзальдегида до $1.2 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ АГ-3И обладает меньшей сорбционной способностью, в то время как остальные образцы углей имеют выпуклую форму зависимости емкости от равновесной концентрации. В то же время отечественные образцы, по сравнению с импортным, в области высоких концентрации п-гидроксibenзальдегида показывают большие значения адсорбционной емкости (4.4 ммоль/г).

При рассмотрении механизма поглощения органических соединений неионными неорганическими сорбентами, наиболее вероятным механизмом является адсорбционный, возникающий за счет слабых межмолекулярных сил взаимодействия поверхности угля с молекулами сорбтива. Поглощение молекул может осуществляться на поверхности макро-, мезо- и микропор сорбента.

Для предварительной оценки сорбционной способности активированных углей производители приводят значения адсорбции соединений малого размера (иодное число) и крупных органических молекул (метиленового голубого). При

этом считается, что при поглощении молекул иода сорбция может осуществляться в порах любого размера, в то время как сорбция красителей указывает на способность поверхности углей удерживать сорбат преимущественно в макропорах сорбента [13]. Таким образом, можно дать предварительную оценку общего содержания пор в угле. Однако производители рассчитывают данные характеристики для предварительно растертых образцов. В настоящей работе проведен анализ сорбционной способности углей относительно молекулярного иода ($C_0=0.1$ моль-экв/дм³) и метиленового голубого (МГ) ($C_0=5 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³) без механического растирания с целью сопоставления полученных емкостей с емкостями по ПГБА. В таблице 2 приведены полученные значения.

Отмечено, что сорбционная способность по I₂ у всех сорбентов сопоставима, в то время как при сорбции метиленового синего большее количество способен поглощать Norit GAC 1240W. Данный факт, возможно, связан с разным процентным отношением содержания макро-, мезо- и микропор в исследуемых углях.

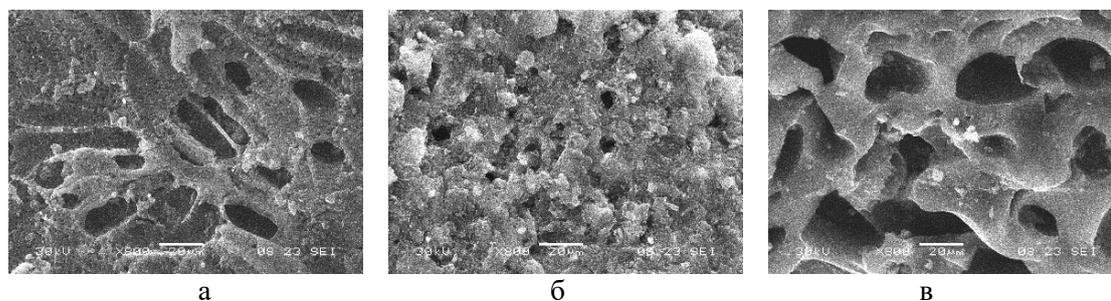
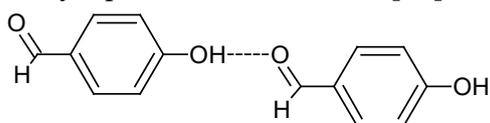


Рис. 2. Микрофотографии поверхности активированных углей: а – ВСК-400, б – АГ-3И, в – Norit GAC 1240W

Fig. 2. Microphotography of surface of various activated carbons: а – VSK-400, б – AG-3I, в – Norit GAC 1240W

Предположение подтверждается при рассмотрении поверхности углей (рис. 2). Исходя из анализа микрофотографий поверхности исследуемых сорбентов, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, отмечается, что у Norit GAC 1240 поверхность более развита и характеризуется равномерным распределением макропор. Для ВСК-400 также отмечается присутствие пор как большого, так малого диаметра, причем они расположены хаотично. В АГ-3И поры равноценны по размеру и отмечается высоко развитая поверхность данного сорбента.

Как видно на рис. 1, в случае сорбции ПГБА на угле марки Norit на начальном участке идет активное заполнение монослоя за счет сорбции в макропорах сорбента, после чего отмечается рост емкости, очевидно, за счет формирования полимолекулярного слоя по схеме [17]:



Формирование полимолекулярных слоев подтверждается максимальными значениями емкостей исследуемых сорбентов по ПГБА, значительно превышающих емкости по иоду, где поглощение подразумевается только за счет формирования монослоя (табл. 2).

Ввиду более низких емкостей ВСК-400 и АГ-3И по МГ можно предположить, что заполнение пор молекулами пара-гидроксибензальдегида и формирование полимолекулярного слоя идет параллельно. Это подтверждается данными по формальной оценке механизма сорбции ПГБА путем линеаризации полученных экспериментальных кривых в координатах уравнений сорбции различного типа: Ленгмюра(1), Фрейндлиха(2), Темкина (3) и Дубинина-Радушкевича (4) [18]:

$$\frac{C_{\text{равн}}}{Q} = \frac{1}{Q_{\text{max}}} C_{\text{равн}} + \frac{1}{b \cdot Q_{\text{max}}} \quad (1)$$

$$\ln Q = \ln \beta_{\phi} + \frac{1}{n} \ln C_{\text{равн}}, \quad (2)$$

$$F = \frac{1}{\alpha} \ln b + \frac{1}{\alpha} \ln C_{\text{равн}}, \quad (3)$$

$$\ln Q = \ln Q_{\text{max}} - k \cdot \varepsilon^2 \quad (4)$$

где Q – величина сорбции при равновесной концентрации $C_{\text{равн}}$, ммоль/г; Q_{max} – величина предельной сорбции, соответствующая заполнению мономолекулярного слоя, $F=Q/Q_{\text{max}}$ – степень завершенности процесса, b – константа сорбционного равновесия; α , β_{ϕ} , n , k – константы сорбции; ε – потенциал Поляни.

Согласно полученным коэффициентам корреляции (таблица 3) линейные зависимости для углей ВСК-400 и АГ-3И отмечаются в случае применения уравнения сорбции типа Фрейндлиха, в то время как для GAC 1240 W – уравнение типа Ленгмюра. В работе [10] при линеаризации изотермы сорбции ПГБА нерастертым образцом угля GAC 1240 W при его содержании до $1 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ отмечено, что сорбция описывается уравнением (2), в то время как для растертого – уравнением (1). В данном исследовании отмечено, что при рассмотрении изотермы сорбции гидроксибензальдегида в более широком диапазоне концентраций изотерма поглощения сорбата гранулированным образцом также подчиняется уравнению сорбции типа Ленгмюра. Таким образом, в случае угля зарубежного производителя адсорбционные центры предположительно однородны по энергии, в то время как для отечественных сорбентов адсорбционные центры неоднородны. Данное явление возможно в том случае, когда центрами сорбции являются не только участки с минимальной энергией на поверхности угля, но и молекулы сорбата, уже закрепленные на поверхности сорбента.

Анализ зависимостей коэффициента распределения ПГБА в системе раствор –

Таблица 3. Коэффициенты корреляции (R^2) изотерм сорбции ПГБА активированными углями, представленных в линейных координатах уравнений сорбции
 Table 3. Correlation coefficients (R^2) of sorption isotherms of PHBA by activated carbons, presented in linear coordinates of the sorption equations

	Уравнение типа Ленгмюра	Уравнение типа Фрейндлиха	Уравнение типа Темкина	Уравнение Дубинина-Радушкевича
ВСК-400	0.881	0.986	0.860	0.763
АГ-3И	0.493	0.979	0.761	0.716
Norit GAC 1240W	0.989	0.948	0.966	0.805

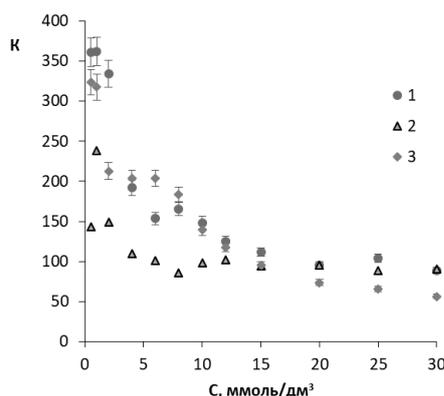


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения п-гидроксibenзальдегида от его концентрации в системе раствор – активированный уголь:

1 – ВСК-400, 2 – АГ-3И, 3 – Norit GAC 1240W

Fig. 3. The dependence of p-hydroxybenzaldehyde distribution coefficient on its concentration in the system solution – activated carbon: 1 – VSK-400, 2 – AG-3I, 3 – Norit GAC 1240W

активированный уголь (рис. 3) указывает на его монотонное убывание при увеличении количества сорбтива в растворе, что, в первую очередь, связано со стерическими затруднениями при адсорбции на поверхности мезо-и микропор по мере заполнения поверхности сорбента. При этом для АГ-3И и ВСК-400 при концентрации пара-гидроксibenзальдегида выше $1.5 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ отмечается «плато», что свидетельствует о формировании полимолекулярных слоев сорбат-сорбат на поверхности углей, для Norit GAC 1240W данный факт характерен в меньшей степени.

Заключение

Проведенные в работе исследования адсорбционной способности активированных углей по отношению к представителю гидроксibenзальдегидов – п-гид-

роксibenзальдегиду – указывают на целесообразность их применения в качестве сорбентов из водных растворов. В статических условиях механизм поглощения таких веществ характеризуется не только формированием монослоя за счет слабых взаимодействий с поверхностью сорбента, но и взаимодействиями типа сорбат-сорбат, обуславливающих образование полислоев.

Анализ емкостей углей по молекулярному иоду и метиленовому голубому позволил дать предварительную оценку емкости сорбентов по монослою, а также оценить долю макропор. Предполагается, что доля макропор возрастает в ряду: ВСК-400 < АГ-3И < Norit GAC 1240W.

Формальный анализ изотерм сорбции ПГБА, основанный на применении линеаризованных уравнений сорбции известных теорий позволил установить, что сорбция альдегида на Norit GAC 1240W



оптимально описывается с использованием уравнения типа Ленгмюра, для ВСК-400 и АГ-3И наиболее подходящим является уравнение типа Фрейндлиха.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список источников

1. Rajoriya R.K., Prasad B., Mishra I.M., Wasewar K.L. // *Chem. Biochem. Eng. Q.* 2007. Vol. 21 (3). pp. 219-226.
2. Фазылова Г.Ф., Валинурова Э.Р., Хатмуллина Р.М., Кудашева Ф.Х. // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2013. Т. 13. № 5. С. 729-735.
3. Инчагова К.С., Строганова Е.А., Дерябин Д.Г. // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии.* 2016. Т. 19. № 11. С. 10-15.
4. Gonzo E.E. // *Adsorption Science and Technology.* 2003. Vol. 21(10). pp. 911-920.
5. Мухин В.М., Курилкин А.А., Воропаева Н.Л., Лексюкова К.В. и др. // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2016. Т. 16. № 3. С. 346-353.
6. Koyuncu H. // *Applied Clay Science.* 2008. Vol. 38(3-4). pp. 279-287.
7. Tan I.A.W., Nameed B.H., Ahmad A.L. // *Chemical Engineering Journal.* 2007. Vol. 127(1-3). pp. 111-119.
8. Halyna Ya.I., Melnyk M.V., Václavíková M., // *Microporous and Mesoporous Materials.* 2021. Vol. 317(2-3). pp. 110974.
9. Pikaar J., Koelmans A.A., Noort P.C.M. // *Chemosphere.* 2006. Vol. 65. Issue 11, pp. 2343-2351.
10. Воронюк И.В., Елисеева Т.В., Свиридова Е.С., Селеменев В.Ф. и др. // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2021. Т. 21. № 1. С. 119-126.
11. Сушкова А.А., Шолохова А.Ю., Елисеева Т.В., Воронюк И.В. // *Журнал*

физической химии. 2021. Т. 95. № 9. С. 1408-1413.

12. ГОСТ 4453-74 Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный.

13. Дунец Р.В., Христюк В.Т., Мезенцева О.А., Кашуба М.С. // *Известия вузов. Пищевая промышленность.* 2001. № 5-6. С. 65-66.

14. ГОСТ 33618-2015 Уголь активированный. Стандартный метод определения иодного числа.

15. Norit digital library. (<http://www.irimex.ru/files/catalog/rubs/files/887/3.pdf>) (дата обращения: 28.12.2021)

16. Клушин В.Н., Хомутов А.Н., Статиров М.М., Киреев А.С. и др. // *Химическая промышленность сегодня.* 2008. № 5. С. 31-41.

17. Толсторожев Г.Б., Скорняков И.В., Беляков М.В., Шимко А.Н. // *Журнал прикладной спектроскопии.* 2013. Т. 80. № 4. С. 524-531

18. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / Ред. Г. Парфит, К. Рочестер. М. Мир. 1986. 488 с.

References

1. Anaya-Esparza L.M., de la Mora Z.V., V1. Rajoriya R.K., Prasad B., Mishra I.M., Wasewar K.L., *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 2007, Vol. 21 (3), pp. 219-226.
2. Fazylova G.F., Valinurova Je.R., Khatmullina R.M., Kudasheva F.H., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2013, Vol. 13, No 5, pp. 729-735.
3. Inchagova K.S., Stroganova E.A., Derjabin D.G., *Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy khimii*, 2016, Vol. 19, No 11, pp. 10-15.
4. Gonzo E.E., *Adsorption Science and Technology*, 2003, Vol. 21(10), pp. 911-920. DOI: <https://10.1260/02636170360744353>
5. Muhin V.M., Kurilkin A.A., Voropaeva N.L., Leksjukova K.V. et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2016, Vol. 16, No 3, pp. 346-353.



6. Koyuncu H., *Applied Clay Science*, 2008, Vol. 38(3-4), pp. 279-287.
7. Tan I.A.W., Hameed B.H., Ahmad A.L., *Chemical Engineering Journal*, 2007, Vol. 127(1-3), pp. 111-119. DOI: <https://10.1016/j.cej.2006.09.010>
8. Halyna Ya.I., Melnyk M.V., Václavíková M., *Microporous and Mesoporous Materials*, 2021, Vol. 317(2-3), pp. 110974. DOI: <https://10.1016/j.micromeso.2021.110974>
9. Pikaar J., Koelmans A.A., Noort P.C.M., *Chemosphere*, 2006, Vol. 65, Issue 11, pp. 2343-2351. DOI: <https://10.1016/j.chemosphere.2006.05.005>
10. Voronyuk I.V., Eliseeva T.V., Sviridova E.S., Selemenev V.F. et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2021, Vol. 21, No 1, pp. 119-126. DOI: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2021.21/3227>
11. Sushkova A.A., Sholohova A.Yu., Eliseeva T.V., Voronyuk I.V., *Russian Journal of physical chemistry A*, 2021, Vol. 95, No 9, pp. 1926-1930. DOI: <https://10.1134/S0036024421090259>
12. GOST 4453-74 Ugol' aktivnyj osvetljajushhij drevesnyj poroshkoobraznyj.
13. Dunec R.V., Khristjuk V.T., Menezceva O.A., Kashuba M.S., *Izvestija vuzov. Pishhevaja promyshlennost'*, 2001, No 5-6, pp. 65-66.
14. GOST 33618-2015 Ugol' aktivirovannyj. Standartnyj metod opredelenija jodnogo chisla.
15. Norit digital library. (<http://www.irimex.ru/files/catalog/rubs/files/887/3.pdf>) (data obrashhenija: 28.12.2021)
16. Klushin V.N., Khomutov A.N., Statirov M.M., Kireev A.S. et al., *Khimicheskaja promyshlennost' segodnja*, 2008, No 5, pp. 31-41.
17. Tolstorozhev G.B., Skornjakov I.V., Beljakov M.V., Shimko A.N., *Zhurnal prikladnoj spektroskopii*, 2013, Vol. 80, No 4, pp. 524-531
18. Adsorbciya iz rastvorov na poverhnosti tverdyh tel, Red. G. Parfit, K. Rochester, M., Mir, 1986, 488 p.

Информации об авторах / Information about the authors

Е.С. Свиридова – студентка магистратуры кафедры аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж

И.В. Воронюк – к.х.н., доцент кафедры аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж

Т.В. Елисеева – к.х.н., зав. кафедрой аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж

В.Ф. Селеменев – д.х.н., проф. каф. аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж

В.М. Мухин – начальник лаборатории АУЭ-СиК, д.тех.н., профессор, Электростальское научно-производственное объединение «Неорганика», Электросталь

E.S. Sviridova – Master student, Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh

I.V. Voronyuk – Assistant Professor, Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, e-mail: chem.vrn@mail.ru

T.V. Eliseeva – Head of the Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, e-mail: tatyanaeliseeva@yandex.ru

V.F. Selemenev – DSci in chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: common@chem.vsu.ru

V.M. Mukhin – Head of the Laboratory of active carbons, elastic sorbents and catalysts, D. Tech. Sci., Professor, Elektrostal Scientific and Production Association "Inorganic", Elektrostal

Статья поступила в редакцию 20.01.2022; одобрена после рецензирования 12.02.2022; принята к публикации 12.02.2022.

The article was submitted 20.01.2022; approved after reviewing 12.02.2022; accepted for publication 12.02.2022.