

УДК 543.544

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.4.20

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ КОЛОНКИ НА ОСНОВЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ 5-ФТОРУРАЦИЛА МЕТОДОМ ОБРАЩЕННОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

© Н. И. Сайранова, Ю. Ф. Исанбаева, Ю. Ю. Гайнуллина*

Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

Тел.: +7 (927) 080 25 56.

*Email: umashkova@mail.ru

Исследована термостабильность супрамолекулярной структуры 5-фторурацила, нанесенной на поверхность сорбента Dowex V-503 по отношению к органическим веществам, способных к образованию водородных связей. Проведен анализ воздействия адсорбат-деструктора на термодинамические функции адсорбции алканов. Адсорбат-деструкторами выступали этанол и бутиламин. Хроматографическое исследование термостабильности колонки проводилось при температурах 70–100 °С и 180–200 °С для этанола и бутиламина соответственно. По значениям мольных изменений внутренней энергии и энтропии адсорбции алканов были найдены «размерные эффекты». Появление последних связано с нарушением аддитивности мольных изменений внутренней энергии и энтропии адсорбции для пары молекул алканов, отличающихся на одну метильную группу. При изучении термостабильности структуры обнаружено, что при введении спиртов в колонку ниже 80 °С и аминов ниже 200 °С «размерные эффекты» исчезают. Происходит разрушение супрамолекулярной сетчатой структуры 5-фторурацила. Это связано с тем, что спирты и амины гораздо прочнее удерживаются на поверхности сорбента из-за наличия амино- и гидроксильной групп.

Ключевые слова: термостабильность супрамолекулярной структуры, 5-фторурацил, обращенная газовая хроматография, адсорбат-деструктор, полость, размерный эффект, удерживаемый объем, аналит, размер полости.

Введение

В последнее десятилетие вследствие прогресса нанотехнологий существенный интерес исследователей привлекает изучение 1D, 2D и 3D супрамолекулярных структур и их свойств. Последние привлекают внимание в связи с тем, что их применение постоянно расширяется в различных областях нелинейной оптики, разработки сенсоров и датчиков.

Многообразие подобных материалов изучают на различных по природе подложках [1–5].

В качестве веществ, способных к образованию таких структур, выступают – меламина, урацил и его производные, плоские молекулы (такие, как 3,4,9,10-перилентетракарбонный ангидрид). Последние образуют двумерные структуры. Их главной особенностью является способность к самосборке на различных поверхностях. Для современной наноинженерии – это важный критерий. Такие структуры могут быть как однокомпонентными [6–17], так и двухкомпонентными [18–22].

Для их изучения применяется очень узкий круг методов. Метод сканирующей туннельной микроскопии [2] – позволяет напрямую визуализировать взаимное расположение молекул на проводящих ток поверхностях. К сожалению, для всех типов структур он не подходит. Это связано с тем, что практически невозможно оценить макроскопические характеристики некоторых поверхностей. В данном случае важным критерием, является приро-

да подложки, на которой образуется супрамолекулярная структура. С этим и связана, проблема в разработке дополнительных подходов к изучению супрамолекулярных ансамблей. Обращенная газовая хроматография – метод, который позволяет получить информацию о способностях супрамолекулярной структуры к концентрированию органических молекул на своей поверхности. Для этого проводят анализ адсорбции органических соединений различного строения и полярности на поверхностях структур. Однако, информации о свойствах супрамолекулярных структур – нет. А именно – стабильность, возможность точного применения конкретного типа структур для решения определенной задачи (разделение и идентификация), устойчивость по отношению к различным деструкторам. Литературные данные по условиям проведения газохроматографического исследования (температура, выбор аналита для изучения свойств стабильности) тоже отсутствуют. В работах [25–27] методом обращенной газовой хроматографии изучены поверхности супраструктур. Однако, информации о термостабильности колонок, заполненных подобными структурами, нет.

Это вызывает огромные проблемы при разделении на них оптически активных веществ – одной из главных задач химии. Ранее [29] по причине отсутствия информации о термостабильности колонок, авторам пришлось, столкнуться с такой про-

блемой. Поэтому, спектр исследуемых аналитов был узким, исследуемая структура не позволила разделить сложные молекулы.

Для решения таких задач, в настоящей работе был предложен метод исследования термостабильности супрамолекулярной структуры 5-фторурацила по полученной информации о термодинамических параметрах адсорбции алканов на ее поверхности.

Экспериментальная часть

Исследуемым модификатором выступал 5-фторурацил. Данное вещество было нанесено на поверхность пористого полимерного сорбента Dowex V-503 с удельной поверхностью 942 м²/г и средним размером пор 34 Å. Модифицирование осуществлялось из водно-спиртового раствора путем отгона растворителя при температуре 60 °С. Концентрация модификатора составляла 1% от массы исходного полимера.

Полученный сорбент изучался методом обращенной газовой хроматографии. Газохроматографическое исследование проводилось на хроматографе «СНРОМ 5» с пламенно-ионизационным детектором. Использовалась стальная колонка 500×3 мм. Рабочий диапазон температур составлял 180–200 °С. Скорость газа-носителя азота 60 мл/мин. Сорбент предварительно кондиционировался в токе азота в течение 10 ч. В качестве тест-сорбатов был выбран гомологический ряд алканов C₅–C₈. Значения удельных удерживаемых объемов (V_g^T) рассчитывались по формуле:

$$V_g^T = j \frac{(l-l_m)\omega T}{V_{ma}} \left(1 - \frac{p_{воды}}{p_{атм}}\right) \quad (1)$$

Из зависимости V_g^T от обратной температуры по выражению:

$$\ln V_g^T = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta U}{RT} \quad (2)$$

рассчитывались -ΔU и -ΔS – величины, пропорциональные мольным изменениям внутренней энергии (кДж/моль) и энтропии (Дж/моль×К) сорбции, соответственно.

Результаты и обсуждения

Супрамолекулярные структуры урацила, циануровой кислоты, ГМУ, 5 – фторурацила и меламин имеют полости различных размеров [24–27]. Также установлено, что появление «размерных эффектов» напрямую связано с наличием таких полостей. Это свидетельствует о том, что если происходит разрушение супрамолекулярной структуры, то «размерные эффекты» исчезают. Данное явление можно наблюдать для одного гомологического ряда. Для этого изучают механизм адсорбции органических соединений на поверхности сорбента, модифицированной супрамолекулярной структурой, при различных температурах. По значениям мольных изменений внутренней энергии адсорбции и энтропии анализируемых молекул определяют наличие «размерных эффектов». В данной работе был

изучен механизм адсорбции спиртов C₅–C₈. Суть эксперимента заключался в установлении физико-химических закономерностей адсорбции алканов на исследуемой структуре. При наличии «размерных эффектов» супрамолекулярная структура являлась термостабильной. Соответственно, можно проводить газохроматографическое разделение некоторых оптически активных веществ. В случае же их исчезновения структура разрушалась, что свидетельствует о низкой термостабильности колонки. На такой колонке идентифицировать и разделять вещества уже невозможно.

В табл. 1 представлены значения мольных изменений внутренней энергии (-ΔU, кДж/моль) и энтропии (-ΔS, Дж/моль×К) адсорбции, а также удерживаемых объемов V_g (мл/г), рассчитанные по уравнению (2). Как видно, удерживаемые объемы растут с увеличением количества атомов углерода. Самое большое удерживание имеет октан. Пентан удерживается практически в 22 раза слабее (V_g = 90.0 г/мл), чем октан (V_g = 1899.6 г/мл). Это говорит, о высокой сорбционной активности исследуемой структуры.

Заметно, что при нанесении 1% 5-фторурацила в гомологическом ряду алканов наблюдаются «размерные эффекты». Как видно, пентан имеет -ΔU и -ΔS на 20.19 Дж/моль и 4.85 Дж/моль×К, соответственно, больше, чем гексан. Это свидетельствует о наличии на поверхности супрамолекулярной структуры 5 – фторурацила полости с приблизительно размером 7–8 Å. По всей вероятности, один алкан адсорбируется в полости, а другой – вне ее.

Таблица 1

Величины удерживаемых объемов V_g (г/мл), мольных изменений внутренней энергии (-ΔU, кДж/моль) и энтропии (-ΔS, Дж/моль×К) адсорбции органических соединений на модифицированном 1 % структурой 5-фторурацила при 200 °С

Сорбат	V _g	-ΔU	-ΔS	г
пентан	90.0	48.32	64.73	0.9978
гексан	287.0	43.47	44.54	0.9913
гептан	698.3	58.92	70.05	0.9982
октан	1899.6	70.25	85.5	0.9910

В табл. 2 приведены величины мольных изменений энтропии (-ΔS, Дж/моль×К) и внутренней энергии (-ΔU, кДж/моль) адсорбции алканов после введения в газохроматографическую колонку адсорбата-деструктора этанола объемом 10 мкл в диапазоне температур от 100 °С до 70 °С. Исходя из табличных данных при 100 °С и 90 °С наблюдаются «размерные эффекты» для пары пентан – гексан. Как видно, пентан имеет -ΔU и -ΔS, соответственно, на 6.8 Дж/моль и 23.2 Дж/моль×К больше, чем гексан, а при 90 °С, соответственно, на 1 Дж/моль и 11.7 Дж/моль×К.

Таблица 2

Термодинамические функции адсорбции ($-\Delta U$, кДж/моль и $-\Delta S$, Дж/моль) алканов на модифицированном 1% структурой 5-фторурацила после введения этанола

Сорбат	200 °С (исходный)			100 °С (этанол)			90 °С (этанол)		
	ΔU	ΔS	г	ΔU	ΔS	г	ΔU	ΔS	г
Пентан	48.3	64.7	0.9978	64.0	97.2	0.9883	69.7	110.5	0.9907
Гексан	43.5	44.5	0.9913	57.2	74.0	0.9587	68.7	98.8	0.9938
Гептан	58.9	70.1	0.9982	60.7	74.0	0.9939	-	-	-
Октан	70.3	85.5	0.9910	69.3	83.7	0.9939	-	-	-

Сорбат	80 °С (этанол)			70 °С (этанол)		
	ΔU	ΔS	г	ΔU	ΔS	г
Пентан	62.3	93.9	0.9983	59.2	88.1	0.9919
Гексан	67.8	96.4	0.9978	65.4	92.7	0.9964
Гептан	67.6	85.6	0.9976	73.0	100.1	0.9998
Октан	70.4	86.1	0.9980	78.2	103.0	0.9974

Таблица 3

Термодинамические функции адсорбции ($-\Delta U$, кДж/моль и $-\Delta S$, Дж/моль) алканов на модифицированном 1% структурой 5-фторурацила после введения бутиламина

Сорбат	200 °С (исходный)			200 °С (бутиламин)			180 °С (бутиламин)		
	ΔU	ΔS	г	ΔU	ΔS	г	ΔU	ΔS	R
Пентан	48.3	64.7	0.9978	53.6	75.5	0.9986	59.0	86.4	0.9969
Гексан	43.5	44.5	0.9913	59.3	79.3	0.9991	69.8	101.5	0.9971
Гептан	58.9	70.1	0.9982	70.2	93.9	0.9959	74.5	103.9	0.9978
Октан	70.3	85.5	0.9910	85.6	119.7	0.9945	79.5	106.4	0.9963

При введении этанола в газохроматографическую колонку ниже 80 °С наблюдается отсутствие размерных эффектов, а также линейный рост термодинамических функций адсорбции в ряду алканов. Поскольку спирты имеют водородные связи, то при температуре ниже 80 °С они прочнее удерживаются на поверхности сорбента, из-за чего может происходить разрушение супрамолекулярной структуры. Это, в свою очередь, указывает на отсутствие «размерного эффекта», следовательно, произошло разрушение супрамолекулярной сеточной структуры 5-фторурацила. Начиная с гексана молярные изменения внутренней энергии и энтропии адсорбции растут, что характерно для супрамолекулярных структур.

После того, как была изучена термостабильность колонки с помощью введения адсорбата-деструктора этанола, представлял интерес изучить свойство колонки с помощью введения вещества, имеющего аминогруппу. Адсорбат-деструктор бутиламин вводился объемом 10 мкл при 200 °С. При 200 °С наблюдается отсутствие «размерных эффектов». По данным, представленным в табл. 3, видно, что происходит линейный рост термодинамических

функций адсорбции алканов $C_5 - C_8$. Следовательно, «размерный эффект» отсутствует. Причина этому то, что при введении бутиламина в газохроматографическую колонку, он попадает в полость супрамолекулярной структуры и полностью адсорбируется в ней. Поскольку сами аминогруппы полярные, то они гораздо прочнее удерживаются на поверхности сорбента, что приводит к разрушению супрамолекулярной структуры 5-фторурацила. Следовательно, вещества, содержащие аминогруппы, можно исследовать на данной структуре при температурах 200 °С и выше.

Выводы

Таким образом, методом обращенной газовой хроматографии в ходе исследования установлено, что 5-фторурацил проявляет размерные эффекты в ряду алканов на паре пентан – гексан с «молекулярным окном» 7–8 Å. При исследовании термостабильности обнаружено, что введение в газохроматографическую колонку спиртов ниже 80 °С и аминов ниже 200 °С приводит к разрушению супрамолекулярной сетчатой структуры 5-фторурацила, характеризующейся отсутствием «размерных

эффектов», поскольку спирты и амины гораздо прочнее удерживаются на поверхности сорбента. Полученные данные о термостабильности колонок, заполненных супрамолекулярными структурами, необходимы для проведения разделения оптически активных веществ методом газовой хроматографии. Это связано с тем, что для осуществления такого анализа важно знать, условия стабильности газохроматографических колонок (температура, давление и скорость газо-носителя), поскольку природа оптически активных веществ (структура, температура кипения и плавления) разнообразна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998. 236 с.
2. Yang Y., Zhang Y., Z. Supramolecular Helices: Chirality transfer from conjugated molecules to structures // *Adv. Mater.* 2013. V. 25. P. 6039–6049.
3. Белякова Л. Д., Буряк А. К., Ларионов О. Г. // *Физикохимия поверхности и защита материалов.* 2013. Т. 49. №6. С. 551–574.
4. Zhang H. M., Xie Z. X., Long L. S., Zhong H. P., Zhao W., Mao B. W., Xu X., Zheng L. S. One-step preparation of large-scale self-assembled monolayers of cyanuric acid and melamine supramolecular species on Au(111) surface // *J. Phys. Chem.* 2008. Vol. 112. №11. Pp. 4209–4218.
5. Gardener J. A., Shvarova O. Y., Briggs G. A. D., Castell M. R. Intricate hydrogen-bonded networks: binary and ternary combinations of uracil, PTCDI, and melamine // *J. Phys. Chem.* 2010. Vol. 114. Pp. 5859–5866.
6. Seki T., Asano A., Seki S., Kikkawa Y., Murayama H., Karatsu T., Kitamura A., Yagai S. Rational construction of perylene bisimide columnar superstructures with a biased helical sense // *Chem. Eur. J.* 2011. Vol. 17. Pp. 3598–3608.
7. Sun X., Jonkman H. T., Silly F. Tailoring two-dimensional PTCDI–melamine self-assembled architectures at room temperature by tuning molecular ratio // *Nanotechnology.* 2010. Vol. 21. Pp. 165602.
8. Silly F., Shaw A. Q., Castella M. R., Briggs G. A. D. A chiral pinwheel supramolecular network driven by the assembly of PTCDI and melamine // *Chem. Commun.* 2008. Pp. 1907–1909.
9. Гуськов В. Ю., Кудашева Ф. Х., Мозговой О. С. // *Физикохимия поверхности и защита материалов.* 2013. Т. 49. №6. С. 589–592.
10. Schurig V. Separation of enantiomers by gas chromatography // *J. Chromatogr. A.* 2001. Vol. 906. P. 275.
11. Гуськов В. Ю., Майстренко В. Н. Новые хиральные неподвижные фазы: получение, свойства, применение в газовой хроматографии // *Журн. аналит. химии.* 2018. Т. 73. В печати.
12. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Ivanov S. P., Kudashева F. Kh. Thermodynamics of organic molecules adsorption on modified by 5-hydroxy-6-methyluracil sorbents by inverse gas chromatography // *J. of Chromatogr. A.* 2014. C. 230–235.
13. Kos'cielski T., Sybilka D., Jurczak J. Separation of α - and β -pinene into enantiomers in gas-liquid chromatography systems via α -cyclodextrin inclusion complexes // *J. Chromatogr. A.* 1983. Vol. 280. Pp. 131–136.
14. Kudryashov S. Yu., Kopytin K. A., Pavlov M. Yu. et al. Adsorption of organic vapors on the carboxypack y carbon adsorbent modified with heptakis-(2,3,6-tri-O-methyl)- β -cyclodextrin // *Russian Journal of Physical Chemistry A.* 2010. Vol. 84. №3. Pp. 495–502.
15. Vitha M., Carr P. W. The chemical interpretation and practice of linear solvation energy relationships in chromatography // *J. Chromatogr. A.* 2006. Vol. 1126. №1–2. Pp. 143–194.
16. Laffort P. Solvation parameters. Part 5: Physicochemical interpretation of experimental solvent values for stationary phases of gas-liquid chromatography // *J. Chromatogr. A.* 2011. Vol. 1218. №26. Pp. 4025–4033.
17. Park J. H., Lee Y. K., Donnet J. B. A study of solid surface polarity using inverse gas chromatographic retention data // *Chromatographia.* 1992. Vol. 33. Pp. 154–158.
18. Zhang H. M., Xie Z. X., Long L. S. et al. One-Step Preparation of Large-Scale Self-Assembled Monolayers of Cyanuric Acid and Melamine Supramolecular Species on Au(111) Surfaces // *J. Phys. Chem. C.* 2008. Vol. 112. Pp. 4209–4218.
19. Gardener J. A., Shvarova O. Y., Briggs G. A. D. et al. Intricate hydrogen-bonded networks: binary and ternary combinations of uracil, PTCDI, and melamine // *J. Phys. Chem. C.* 2010. Vol. 114. Pp. 5859–5866.
20. Seki T., Asano A., Seki S. et al. Rational Construction of PeryleneBisimide Columnar Superstructures with a Biased Helical Sense // *Chem. Eur. J.* 2011. №17. Pp. 3598–3608.
21. Freissinet C., Buch A., Szopa C. et al. Enantiomeric separation of volatile organics by gas chromatography for the in situ analysis of extraterrestrial materials: Kinetics and thermodynamics investigation of various chiral stationary phases // *J. Chromatogr. A.* 2013. Vol. 1306. P. 59.
22. Piras P., Roussel C. CHIRBASE, a molecular database for the separation of enantiomers by chromatography // *J. Chromatogr. A.* 1994. Vol. 666. Pp. 557–563.
23. Thomas R., Kulkarni G. U. A hydrogen – bonded channel structure formed by a complex of uracil and melamine // *Beilstein J. of Organic Chem.* 2007. Vol. 3. №17. Pp. 1–4.
24. Гуськов В. Ю., Гайнуллина Ю. Ю., Кудашева Ф. Х. и др. Свойства поверхности модифицированного 5-фторурацилом пористого полимера по данным газовой хроматографии // *Журн. Физ. химии.* 2014. Т. 88. №6. С. 1058–1062.
25. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Ivanov S. P. et al. Thermodynamics of organic molecules adsorption on modified by 5-hydroxy-6-methyluracil sorbents by inverse gas chromatography // *J. of Chromatogr. A.* 2014. Pp. 230–235.
26. Гайнуллина Ю. Ю., Гуськов В. Ю. Адсорбция органических молекул на поверхности модифицированных меланином сорбентов по данным обращенной газовой хроматографии // *Вестник БГУ.* 2017. Т. 22. №3. С. 707–712.
27. Гайнуллина Ю. Ю., Гуськов В. Ю. Исследование энантиоселективности сорбентов на основе супрамолекулярных структур по отношению к энантиомерам лимонена // *Вестник БГУ.* 2017. Т. 22. №3. С. 690–693.
28. Jensen S., Greenwood J., Früchtl H. A., Baddeley C. J. STM investigation on the formation of oligoamides on Au{111} by surface-confined reactions of melamine with trimesoyl chloride // *J. Phys. Chem. C.* 2011. Vol. 115. №17. Pp. 8630–8636.
29. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Uteeva J. D., Musabirov D. E. The use of a chiral stationary phase based on 3,4,9,10-perylene tetracarboxylic acid dianhydride for the separation of enantiomers in gas and liquid chromatography // *J. of analytical chem.* 2020. Vol. 75. №6. Pp. 537–542.

Поступила в редакцию 03.11.2020 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.4.20

**STUDY OF COLUMN THERMOSTABILITY BASED ON
THE SUPRAMOLECULAR STRUCTURE OF 5-FLUORURACIL
BY REVERSED GAS CHROMATOGRAPHY**

© N. I. Sairanova, Yu. F. Isanbaeva, Yu. Yu. Gainullina*

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (927) 080 25 56.

**Email: umashkova@mail.ru*

The stability of the supramolecular structure of 5-fluorouracil deposited on the surface of a porous polymer sorbent with respect to organic vapors capable of forming hydrogen bonds was studied. The analysis of the effect of the adsorbate-destroyer of the supramolecular structure on the specific retention volume and thermodynamic functions of adsorption of organic molecules was carried out. Ethanol in the temperature range of 70–100 °C and butylamine at 180–200 °C were used as an adsorbate-destroyer. The “size effects” were determined by the values of molar changes in the internal energy and entropy of adsorption. They are associated with a violation of additivity of molar changes in the internal energy and entropy of adsorption in the homologous series of alkanes. In this work, it was found that 5-fluorouracil exhibits size effects in the series of alkanes on the pentane – hexane pair (pentane: $-\Delta U = 48.32$ kJ/mol, $-\Delta S = 64.73$ J/mol \times K; hexane: $-\Delta U = 43.47$ kJ/mol, $-\Delta S = 44.57$ J/mol \times K). This indicates the presence of a cavity with a “molecular window” of 7–8 Å. In the study of thermal stability, it was found that introduction of alcohols below 80 °C and of amines below 200 °C leads to the destruction of the supramolecular network structure of 5-fluorouracil, which is characterized by the absence of size effects. This is due to the fact that alcohols and amines have hydrogen bonds, and they are much more strongly retained on the surface of the sorbent, which leads to the destruction of the supramolecular structure. The obtained data provide possibilities for further studies of thermal stability of almost all gas chromatographic columns, which is the main component of any chromatographic study.

Keywords: thermal stability of supramolecular structure, 5-fluorouracil, inverse gas chromatography, adsorbate-destroyer, cavity, size effect, retained volume.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Len Zh.-M. Supramolekulyarnaya khimiya. Kontseptsii i perspektivy [Supramolecular chemistry. Concepts and prospects]. Novosibirsk: Nauka, 1998.
2. Yang Y., Zhang Y., Z. Adv. Mater. 2013. Vol. 25. Pp. 6039–6049.
3. Belyakova L. D., Buryak A. K., Larionov O. G. Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. 2013. Vol. 49. No. 6. Pp. 551–574.
4. Zhang H. M., Xie Z. X., Long L. S., Zhong H. P., Zhao W., Mao B. W., Xu X., Zheng L. S. J. Phys. Chem. 2008. Vol. 112. No. 11. Pp. 4209–4218.
5. Gardener J. A., Shvarova O. Y., Briggs G. A. D., Castell M. R. J. Phys. Chem. 2010. Vol. 114. Pp. 5859–5866.
6. Seki T., Asano A., Seki S., Kikkawa Y., Murayama H., Karatsu T., Kitamura A., Yagai S. Chem. Eur. J. 2011. Vol. 17. Pp. 3598–3608.
7. Sun X., Jonkman H. T., Silly F. Nanotechnology. 2010. Vol. 21. Pp. 165602.
8. Silly F., Shaw A. Q., Castella M. R., Briggs G. A. D. Chem. Commun. 2008. Pp. 1907–1909.
9. Gus'kov V. Yu., Kudasheva F. Kh., Mozgovoi O. S. Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. 2013. T 49. No. 6. Pp. 589–592.
10. Schurig V. J. Chromatogr. A. 2001. Vol. 906. Pp. 275.
11. Gus'kov V. Yu., Maistrenko V. N. Zhurn. analit. khimii. 2018. Vol. 73. V pechati.
12. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Ivanov S. P., Kudasheva F. Kh. J. of Chromatogr. A. 2014. Pp. 230–235.
13. Kos'cielski T., Sybilska D., Jurczak J. J. Chromatogr. A. 1983. Vol. 280. Pp. 131–136.
14. Kudryashov S. Yu., Kopytin K. A., Pavlov M. Yu. et al. Adsorption of organic vapors on the carbopack y carbon adsorbent modified with heptakis-(2,3,6-tri-O-methyl)- β -cyclodextrin. Russian Journal of Physical Chemistry A. 2010. Vol. 84. No. 3. Pp. 495–502.
15. Vitha M., Carr P. W. J. Chromatogr. A. 2006. Vol. 1126. No. 1–2. Pp. 143–194.

16. Laffort P. J. *Chromatogr. A*. 2011. Vol. 1218. No. 26. Pp. 4025–4033.
17. Park J. H., Lee Y. K., Donnet J. B. *Chromatographia*. 1992. Vol. 33. Pp. 154–158.
18. Zhang H. M., Xie Z. X., Long L. S. et al. One-Step Preparation of Large-Scale Self-Assembled Monolayers of Cyanuric Acid and Melamine Supramolecular Species on Au(111) Surfaces. *J. Phys. Chem.* Pp. 2008. Vol. 112. Pp. 4209–4218.
19. Gardener J. A., Shvarova O. Y., Briggs G. A. D. et al. Intricate hydrogen-bonded networks: binary and ternary combinations of uracil, PTCDI, and melamine. *J. Phys. Chem.* Pp. 2010. Vol. 114. Pp. 5859–5866.
20. Seki T., Asano A., Seki S. et al. Rational Construction of PeryleneBisimide Columnar Superstructures with a Biased Helical Sense. *Chem. Eur. J.* 2011. No. 17. Pp. 3598–3608.
21. Freissinet C., Buch A., Szopa C. et al. Enantiomeric separation of volatile organics by gas chromatography for the in situ analysis of extraterrestrial materials: Kinetics and thermodynamics investigation of various chiral stationary phases. *J. Chromatogr. A*. 2013. Vol. 1306. Pp. 59.
22. Piras P., Roussel C. *J. Chromatogr. A*. 1994. Vol. 666. Pp. 557–563.
23. Thomas R., Kulkarni G. U. *Beilstein J. of Organic Chem.* 2007. Vol. 3. No. 17. Pp. 1–4.
24. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Kudasheva F. Kh. i dr. Svoistva poverkhnosti modifitsirovannogo 5-ftoruratsilom poristogo polimera po dannym gazovoi khromatografii. *Zhurn. Fiz. khimii*. 2014. Vol. 88. No. 6. Pp. 1058–1062.
25. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Ivanov S. P. et al. Thermodynamics of organic molecules adsorption on modified by 5-hydroxy-6-methyluracil sorbents by inverse gas chromatography. *J. of Chromatogr. A*. 2014. Pp. 230–235.
26. Gainullina Yu. Yu., Gus'kov V. Yu. *Vestnik BGU*. 2017. Vol. 22. No. 3. Pp. 707–712.
27. Gainullina Yu. Yu., Gus'kov V. Yu. *Vestnik BGU*. 2017. Vol. 22. No. 3. Pp. 690–693.
28. Jensen S., Greenwood J., Früchtl H. A., Baddeley C. J. *J. Phys. Chem.* Pp. 2011. Vol. 115. No. 17. Pp. 8630–8636.
29. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Uteeva J. D., Musabirov D. E.. The use of a chiral stationary phase based on 3,4,9,10-perylene tetracarboxylic acid dianhydride for the separation of enantiomers in gas and liquid chromatography. *J. of analytical chem.* 2020. Vol. 75. No. 6. Pp. 537–542.

Received 03.11.2020.