

УДК 543.544

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.2.14

## ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОСТЬ АДсорбЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИНЕРТНОГО НОСИТЕЛЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО СМЕШАННЫМИ СТРУКТУРАМИ УРАЦИЛ-МЕЛАМИН И УРАЦИЛ-ЦИАНУРОВАЯ КИСЛОТА

© Ю. Ю. Гайнуллина, Д. А. Аллаярова\*, В. Ю. Гуськов

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

Тел.: +7 (347) 231 27 50.

\*Email: suhareva470@mail.ru

*Методом обращенной газовой хроматографии изучена способность новых адсорбентов на основе инертного носителя, модифицированного смешанными супрамолекулярными структурами урацил-меламин и урацил-циануровая кислота к хиральному распознаванию. Рассчитаны хроматографические параметры селективности модифицированных образцов к ряду рацематов. Анализ полученных данных показал энантиоселективность адсорбентов по отношению к 2-бутанолу, 1-метокси-2-пропанолу и 1-бромэтилбензолу с факторами селективности от 1.11 до 2.17. Обнаружено, что в случае структуры урацил-меламин 2-бутанол разделяется в температурном диапазоне 110–115 °С, 1-бромэтилбензол при 85–90 °С. Разделения 2-бутанола на структуре урацил-циануровая кислота получены при 115–135 °С, 1-метокси-2-пропанола в температурном диапазоне 95–110 °С, а 1-бромэтилбензола при 110–120 °С. Это свидетельствует возможности применения образующихся на поверхности супрамолекулярных структур для газохроматографического исследования оптически активных веществ.*

**Ключевые слова:** обращенная газовая хроматография, смешанная супрамолекулярная структура, урацил, циануровая кислота, меламин, инертный носитель, энантиомерное разделение.

### Введение

За последнее десятилетие в связи с появлением новых задач, стоящих перед химиком-исследователем, отмечен рост применения наноструктурированных материалов, среди которых выделяют двумерные сетчатые супрамолекулярные структуры, образованные из гетероциклических соединений на твердых поверхностях. Гетероциклические соединения, такие как меламин, урацил и циануровая кислота, способны к самосборке на любой твердой поверхности, а образованные ими структуры имеют дальний порядок [1–2]. Супрамолекулярные структуры могут применяться для молекулярного распознавания [3], которое играет важную роль в органическом синтезе и при исследовании биологических систем. Оптически активные соединения, участвующие в процессах тонкого органического синтеза или являющиеся физиологическими объектами требуют высокую энантиомерную чистоту. Контроль органических соединений на энантиомерную чистоту всегда представлял собой сложную задачу. Хроматографический метод разделения может оказаться единственно возможным решением представляемой задачи [4–5].

На сегодняшний день существуют хиральные неподвижные фазы различной природы, используемые в газовой хроматографии [6–11]. Повышенной энантиоселективностью отличаются адсорбенты на основе супрамолекулярных сетчатых структур [12]. Было установлено, что сорбенты на основе однокомпонентных супрамолекулярных структур урацила, меламина, циануровой кислоты,

5-гидрокси-6-метилурацила способны разделять рацематы на энантиомеры как сложных органических молекул ментола, камфена и камфоры, так и низкокипящих 2-замещенных галогеналканов, спиртов и эфиров [13–19]. Однако высокая эффективность при использовании таких неподвижных фаз не была достигнута.

В зарубежной литературе [20–22] были изучены супрамолекулярные структуры, полученные путем комбинации двух или более веществ. Данные сканирующей туннельной микроскопии в работах показали, наличие полостей в смешанных супрамолекулярных структурах и образование хирально направленных доменов. В работе [23] авторами было установлено, что смешанная структура меламин – циануровая кислота энантиоселективности не проявила ни к одному классу энантиомеров, что объясняется отсутствием полости у данной структуры. Урацил и меламин в мольном соотношении 1:1 также способны образовывать смешанную супрамолекулярную структуру с образованием полостей (рис. 1) [20]. Однако информации по способности данной смешанной структуры к хиральному распознаванию в литературе практически нет, как и для многих других комбинаций. В связи с этим, представляет интерес исследовать комбинированные структуры, имеющие полости, в качестве модификаторов поверхностей адсорбентов для создания хиральных газохроматографических неподвижных фаз и установления принципиальной способности к распознаванию энантиомеров.

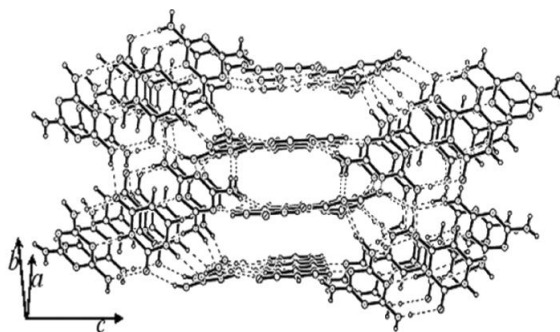


Рис.1. Трехмерная структура комплекса 1:1 урацил-меламин [20].

Целью настоящей работы является установление возможности хирального разделения органических веществ при адсорбции на сорбентах, модифицированных смешанными структурами урацил-меламин и урацил-циануровая кислота.

#### Экспериментальная часть

В качестве органических соединений, способных к образованию супрамолекулярных структур на твердой поверхности были выбраны урацил, меламин и циануровая кислота (CAS №66-22-8, 108-78-1, 108-80-5, соответственно). Модификаторы наносились на инертный носитель Inerton N (Chemapol, Чехия). Удельная поверхность исходного адсорбента составила 0.4–0.65 м<sup>2</sup>/г, размер частиц 0.200–0.250 мм. Путем комбинации двух веществ-модификаторов были получены смешанные супрамолекулярные структуры урацил-меламин и урацил-циануровая кислота на поверхности инертного носителя. Мольное соотношение урацил-меламин и урацил-циануровая кислота составляло 1:1 в обоих случаях. Общее количество нанесенного модифицирующего агента составляло 1% от массы исходного сорбента.

Методом обращенной газовой хроматографией проводилось газохроматографическое исследование на хроматографе «Цвет 500М» (Цвет, Дзержинск, Россия) с пламенно-ионизационным детектором.

Условия эксперимента:

1. Стальная колонка длиной 1 м с внутренним диаметром 3 мм.
2. Скорость газа-носителя азота  $\omega = 6-10$  мл/мин.
3. Рабочий диапазон температур от 70 до 135 °С с шагом 5 °С.
4. Предварительное кондиционирование в течение 10 ч при температуре 135 °С.
5. Рацемические анализы – 2-бутанол, 2-пентанол, 1-метокси-2-пропанол, 1-бромэтилбензол (CAS №78-92-2, 6032-29-7, 107-98-2, 585-71-7 производство Sigma-Aldrich, США, чистота >98%).

В качестве характеристики различия адсорбции энантиомеров оптически активных веществ применяли отношение времен удерживания энантиомеров, называемое фактором селективности:

$$\alpha = \frac{t_{r(2)}}{t_{r(1)}}, \quad (1)$$

Здесь и далее индексом 1 обозначен энантиомер с меньшим удерживанием, а индексом 2 – с

большим. При  $\alpha = 1$  в хроматографической системе отсутствует разделение.

Критерий разделения  $K_1$  рассчитывался по формуле:

$$K_1 = \frac{\Delta t_r}{\mu_{0,5(1)} + \mu_{0,5(2)}}, \quad (2)$$

где  $\Delta V_g$  – разность времен удерживания разделяемых энантиомеров;  $\mu_{0,5}$  – ширина хроматографического пика, измеренная на половине его высоты и выраженная в единицах времени удерживания.

#### Результаты и их обсуждение

Получены времена удерживания некоторых рацематов органических соединений на сорбенте, модифицированном смешанной структурой урацил-меламин (табл. 1). С повышением температуры время удерживания уменьшаются для всех рацемических анализов. Заметно, что времена удерживания двух появившихся на хроматограмме пиков, соответствующих энантиомерам одного соединения, различаются достаточно значительно. В среднем время анализа составляет от 6 до 12 мин.

Значения факторов селективности, а также критерий разделений  $K_1$  для разделяемых пар энантиомеров 2-бутанола и 1-бромэтилбензола на сорбенте, модифицированном смешанной структурой урацил-меламин приведены в табл. 2. Получено максимальное разделение 2-бутанола при  $T = 110$  °С с  $\alpha = 1.67$  и  $K_1 = 0.99$ , 1-бромэтилбензола при  $T = 90$  °С с  $\alpha = 1.42$  и  $K_1 = 0.95$ .

Таблица 1

Времена удерживания для разделяемых пар энантиомеров 2-бутанола, 1-бромэтилбензола на сорбенте, модифицированном двух компонентной структурой урацил-меламин

| $T, ^\circ\text{C}$ | $t_{r(1)}, \text{c}$ | $t_{r(2)}, \text{c}$ |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| 2-бутанол           |                      |                      |
| 100                 | 418.7                | 699.2                |
| 115                 | 370.0                | 600.1                |
| 1-бромэтилбензол    |                      |                      |
| 85                  | 498.4                | 657.1                |
| 90                  | 353.0                | 393.2                |

Таблица 2

Значения факторов селективности, а также критерии разделения  $K_1$  для разделяемых пар энантиомеров 2-бутанола и 1-бромэтилбензола на сорбенте, модифицированном двухкомпонентной структурой урацил-меламин

| $T, ^\circ\text{C}$     | $V_{\text{пр}}$ | $\alpha$ | $K_1$ |
|-------------------------|-----------------|----------|-------|
| <b>2-бутанол</b>        |                 |          |       |
| 110                     |                 | 1.67     | 0.99  |
| 115                     | 0.2             | 1.62     | 0.69  |
| <b>1-бромэтилбензол</b> |                 |          |       |
| 85                      |                 | 1.11     | 0.90  |
| 90                      | 0.2             | 1.42     | 0.95  |

На рис. 2 показана хроматограмма разделения рацемата 2-бутанола при  $T = 115^\circ\text{C}$  и  $\omega = 6$  мл/мин на адсорбенте, модифицированном смешанной структурой урацил-меламин. Вероятно, возможность энантиоселективной адсорбции появляется в результате формирования полостей супрамолекулярной структуры. Как показано ранее [17], один энантиомер способен адсорбироваться внутри полости, а другой – вне ее. Так как структуры на основе молекул урацила, меламин и циануровой кислоты обладают способностью к образованию водородных связей, преимущественно разделения наблюдались для рацематов спиртов и эфиров. Разделения менее полярных галогензамещенных аналитов не было получено. Разделения энантиомеров на предлагаемой неподвижной фазе наблюдались неполные ввиду невысокой эффективности хроматографической колонки.

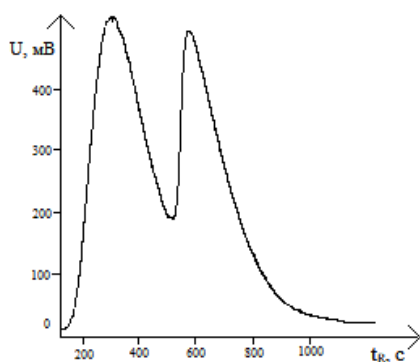


Рис. 2. Разделение рацемата 2-бутанола на адсорбенте Inerton N, модифицированном смешанной структурой урацил-меламин при  $115^\circ\text{C}$ ,  $\omega = 6$  мл/мин.

В табл. 3 представлены времена удерживания для энантиомеров 2-бутанола, 1-метокси-2-пропанола и 1-бромэтилбензола на сорбенте с нанесенной на поверхность двухкомпонентной структурой урацил-циануровая кислота. Также как и для первого изучаемого сорбента, времена удерживания на втором сорбенте уменьшаются с повышением температуры. Время анализа составляло от 1 до 6 мин.

Таблица 3

Времена удерживания для разделяемых пар энантиомеров 2-бутанола, 1-метокси-2-пропанола, 1-бромэтилбензола на сорбенте, модифицированном двухкомпонентной структурой урацил-циануровая кислота

| $T, ^\circ\text{C}$  | $t_{R(1)}, \text{c}$ | $t_{R(2)}, \text{c}$ |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2-бутанол            |                      |                      |
| 115                  | 172.5                | 324.3                |
| 120                  | 134.0                | 242.3                |
| 125                  | 129.2                | 209.7                |
| 130                  | 104.6                | 187.4                |
| 135                  | 82.3                 | 149.5                |
| 1-метокси-2-пропанол |                      |                      |
| 95                   | 120.4                | 223.8                |
| 100                  | 112.8                | 212.2                |
| 105                  | 101.2                | 166.9                |
| 110                  | 91.3                 | 164.2                |
| 1-бромэтилбензол     |                      |                      |
| 110                  | 120.4                | 262.1                |
| 120                  | 96.8                 | 183.5                |

Таблица 4

Значения факторов селективности, а также критерий разделения  $K_1$  для разделяемых пар энантиомеров 2-бутанола, 1-метокси-2-пропанола и 1-бромэтилбензола на сорбенте, модифицированном двухкомпонентной структурой урацил-циануровая кислота

| $T, ^\circ\text{C}$  | $V_{\text{пр}}$ | $\alpha$ | $K_1$ |
|----------------------|-----------------|----------|-------|
| 2-бутанол            |                 |          |       |
| 120                  |                 | 1.87     | 0.85  |
| 125                  |                 | 1.56     | 0.87  |
| 130                  | 0.2             | 1.79     | 0.64  |
| 135                  |                 | 1.81     | 0.51  |
| 1-метокси-2-пропанол |                 |          |       |
| 95                   |                 | 1.98     | 0.58  |
| 100                  |                 | 1.76     | 0.56  |
| 105                  | 0.2             | 1.64     | 0.47  |
| 110                  |                 | 1.79     | 0.34  |
| 1-бромэтилбензол     |                 |          |       |
| 110                  |                 | 2.17     | 0.65  |
| 120                  | 0.2             | 1.89     | 0.72  |

На сорбенте, модифицированном смешанной структурой урацил-циануровая кислота рассчитаны значения факторов селективности, а также критерий разделения  $K_1$  для разделяемых пар энантиомеров оптически активных спиртов и 1-бромэтилбензола (табл. 4). С повышением температуры наблюдается уменьшение показателей энантиоселективности. Неподвижная фаза на основе смешанной структуры урацил-циануровая кислота показала самую высокую энантиоселективность по отношению к 1-метокси-2-пропанолу при температуре  $95^\circ\text{C}$ . Фактор селективности составляет 1.98, а критерий раз-

деления  $K_1$  равен 0.58. Для 1-бромэтилбензола энантиоселективность была обнаружена также при температурах 110–120 °С. Фактор селективности 1-бромэтилбензола  $\alpha = 2.17$  при  $T = 110$  °С, а  $K_1=2.34$ . Хроматограмма разделения 1-метокси-2-пропанола при  $T = 100$  °С и  $\omega = 6$  мл/мин представлена на рис. 3.

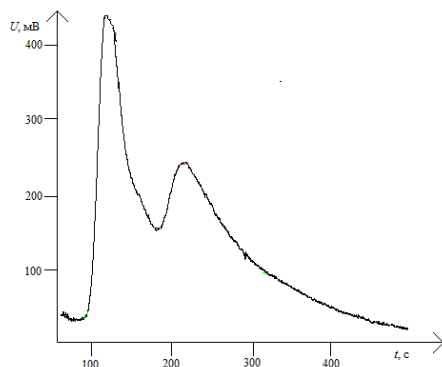


Рис. 3. Разделение рацемата 1-метокси-2-пропанола на адсорбенте Inerton N, модифицированном смешанной структурой урацил-циануровая кислота при 100 °С,  $\omega = 6$  мл/мин.

Таким образом, методом обращенной газовой хроматографии показана способность новых представленных адсорбентов к хиральному распознаванию. Представленные хроматографические колонки могут быть рекомендованы для экспрессного газохроматографического определения энантиомеров 2-бутанола, 1-бромэтилбензола, 1-метокси-2-пропанола.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда №19-73-10079.*

#### ЛИТЕРАТУРА

- Böhringer M., Schneider W.-D., Berndt R. Two-dimensional self-assembly of supramolecular structures // *Surf. Rev. Lett.* 2000. Vol. 7. Pp. 661–666.
- Chang C., Wang X., Bai Y., Liu H. Applications of nanomaterials in enantioselective separation and related techniques // *TrAC.* 2012. Vol. 39. №195. P. 206.
- Liu M., Zhang L., Wang T. Supramolecular chirality in self-assembled systems // *Chem. Rev.* 2015. Vol. 115. №15. Pp. 7304–7397.
- Schurig V. Enantiomer separation by gas chromatography on chiral stationary phases // *J. Chromatogr. A.* 1994. Vol. 666. Pp. 111–129.
- Schurig V. Separation of enantiomers by gas chromatography // *J. Chromatogr. A.* 2001. Vol. 906. Pp. 275–299.
- Zhang J. H., Xie S. M., Wang B. J., He P. G., Yuan L. M. Highly selective separation of enantiomers using a chiral porous organic cage // *J. Chromatogr. A.* 2015. Vol. 1426. P. 174.
- Meinert C., Meierhenrich U. J. Derivatization and multidimensional gas-chromatographic resolution of  $\alpha$ -alkyl and  $\alpha$ -dialkyl amino acid enantiomers // *ChemPlusChem.* 2014. Vol. 79. №6. P. 781.
- Song Y.-M., Zhou T., Wang X.-S., Li X.-N., Xiong R.-G. Resolution of a racemic small molecular alcohol by a chiral metal-organic coordination polymer through intercalation // *Cryst. Growth Des.* 2006. Vol. 6. №1. P. 14.
- Myrgorodska I., Javelle T., Meinert C., Meierhenrich U. J. Enantioselective gas chromatography in search of the origin of biomolecular asymmetry in outer space // *Isr. J. Chem.* 2016. Vol. 56. №11–12. P. 1016.
- Peluso P., Mamane V., Cossu S. Homochiral metal-organic frameworks and their application in chromatography enantioselective separations // *J. Chromatogr. A.* 2014. Vol. 1363. P. 1.
- Zhang X., Zhang C., Sun G., Xu X., Tan Y., Wu H., Cao R., Liu J., Wu J. Cyclodextrins and their derivatives in the resolution of chiral natural products: A review // *Instrum. Sci. Technol.* 2012. Vol. 40. P. 194.
- Гуськов В. Ю., Майстренко В. Н. Новые хиральные неподвижные фазы: получение, свойства, применение в газовой хроматографии // *Журн. аналит. химии.* 2018. Т. 73. №10. С. 727–738.
- Gus'kov V. Yu., Sukhareva D. A., Gainullina Yu. Yu., Hamitov Ed. M., Galkin Yev. G. and Maistrenko V. N. Chiral recognition capabilities of melamine and cyanuric acid supramolecular structures // *Supramolecular Chemistry.* 2018. Vol. 30. №11. Pp. 940–948.
- Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Ivanov S. P. and Kudasheva F. Kh. Thermodynamics of organic molecules adsorption on modified by 5-hydroxy-6-methyluracil sorbents by inverse gas chromatography // *J. Chromatogr. A.* 2014. Vol. 1356. Pp. 230–235.
- Gus'kov V. Y., Gainullina Y. Y., Suhareva D. A., Sidel'nikov A. V., Kudasheva F. K. Chiral surfaces formed by uracil, 5-hydroxy-6-methyluracil and melamine supramolecular structures // *ИЖХ.* 2016. Vol. 12. No 3. Pp. 359–374.
- Гуськов В. Ю., Гайнуллина Ю. Ю., Кудашева Ф. Х. Разделение энантиомеров ментола, камфена и камфоры на 5-гидрокси-6-метилурациле в условиях газовой хроматографии // *Аналитика и контроль.* 2014. Т. 18. №2. С. 178–181.
- Gus'kov V. Y., Suhareva D. A., Arslanova I. V., Musabirov D. Ed. Gas-Chromatographic separation of enantiomers of 2-chlorobutan and 2-bromobutan on cyanuric acid-modified Carbolblack C adsorbent // *J. Analit. Chem.* 2017. Vol. 72. No. 10. Pp. 1089–1094.
- Нафикова А. Р., Аллаярова Д. А., Гуськов В. Ю. Разделение энантиомеров 2-бромбутана, 2-хлорбутана, 2-хлорпентана и бутанола-2 на неподвижной фазе на основе супрамолекулярной структуры урацила // *Журн. аналит. хим.* 2019. Т. 74. №6. С. 415–420.
- Gainullina Yu. Yu., Timofeeva D. V., Ivanov S. P., and Gus'kov V. Yu.. Separating enantiomers of haloalkanes and alcohols on a stationary phase based on the supramolecular structure of melamine with induced chirality // *J. Phys. Chem. A.* 2019. Vol. 93, No. 6. Pp. 1007–1012.
- Thomas R. and Kulkarni G. U. A hydrogen – bonded channel structure formed by a complex of uracil and melamine // *Beilstein J. Org. Chem.* 2007. Vol. 3. No. 17. Pp. 1–4.
- 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) surfaces // *J. Phys. Chem. C.* 2008. Vol. 112. Pp. 4209–4218.
- 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. C.* 2010. Vol. 114. Pp. 5859–5866.
- Гайнуллина Ю. Ю., Гуськов В. Ю. Адсорбция органических молекул на поверхности пористого полимера, модифицированного смешанной супрамолекулярной структурой меламина-циануровая кислота // *Журн. физ. хим.* 2017. Т. 91. №10. С. 1176–1181.

*Поступила в редакцию 18.12.2019 г.*

**ENANTIOSELECTIVITY OF ADSORBENTS BASED ON AN INERT  
CARRIER MODIFIED BY MIXED STRUCTURES OF URACIL-MELAMINE  
AND URACIL CYANURIC ACID**

© Yu. Yu. Gainullina, D. A. Allayarova\*, V. Yu. Gus'kov

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

*Phone: +7 (347) 231 27 50.*

*\*Email: suhareva470@mail.ru*

Mixed supramolecular structures with cavities were studied as surface modifiers of adsorbents to create chromatographic stationary phases of chiral gas. The ability to chiral recognition of adsorbents based on an inert support modified with mixed supramolecular structures of uracil-melamine and uracil-cyanuric acid was studied by reverse gas chromatography. Chromatographic selectivity parameters for modified samples and racemates were calculated by the retention times. The enantioselectivity of adsorbents with respect to 2-butanol, 1-methoxy-2-propanol, and 1-bromoethylbenzene with selectivity factors from 1.11 to 2.17 was found. According to the obtained chromatograms, in the case of uracil-melamine structure, 2-butanol was separated at the temperature range of 110–115 °C, 1-bromoethylbenzene at 85–90 °C. The separation of 2-butanol on the two-component structure of uracil-cyanuric acid was obtained at 115–135 °C, 1-methoxy-2-propanol at the temperature range of 95–110 °C, and 1-bromoethylbenzene at 110–120 °C. The retention times of the two enantiomers of the same compound in the chromatogram differed significantly. The average analysis time was in range from 2 to 12 minutes. The results obtained during the experiment indicate the ability of supramolecular structures on the surface of adsorbents to enantioselectivity and the possibility of their use for gas chromatographic studies of optically active substances.

**Keywords:** reverse gas chromatography, mixed supramolecular structure, uracil, cyanuric acid, melamine, inert carrier, enantiomeric separation.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at [bulletin\\_bsu@mail.ru](mailto:bulletin_bsu@mail.ru) if you need translation of the article.

## REFERENCES

1. Böhringer M., Schneider W.-D., Berndt R. *Surf. Rev. Lett.* 2000. Vol. 7. Pp. 661–666.
2. Chang C., Wang X., Bai Y., Liu H. *TrAC*. 2012. Vol. 39. No. 195. Pp. 206.
3. Liu M., Zhang L., Wang T. *Chem. Rev.* 2015. Vol. 115. No. 15. Pp. 7304–7397.
4. Schurig V. *J. Chromatogr. A*. 1994. Vol. 666. Pp. 111–129.
5. Schurig V. *J. Chromatogr. A*. 2001. Vol. 906. Pp. 275–299.
6. Zhang J. H., Xie S. M., Wang B. J., He P. G., Yuan L. M. *J. Chromatogr. A*. 2015. Vol. 1426. Pp. 174.
7. Meinert C., Meierhenrich U. J. *ChemPlusChem*. 2014. Vol. 79. No. 6. Pp. 781.
8. Song Y.-M., Zhou T., Wang X.-S., Li X.-N., Xiong R.-G. *Cryst. Growth Des.* 2006. Vol. 6. No. 1. Pp. 14.
9. Myrgorodska I., Javelle T., Meinert C., Meierhenrich U. J. *Isr. J. Chem.* 2016. Vol. 56. No. 11–12. Pp. 1016.
10. Peluso P., Mamane V., Cossu S. J. *Chromatogr. A*. 2014. Vol. 1363. Pp. 1.
11. Zhang X., Zhang C., Sun G., Xu X., Tan Y., Wu H., Cao R., Liu J., Wu J. *Instrum. Sci. Technol.* 2012. Vol. 40. Pp. 194.
12. Gus'kov V. Yu., Maistrenko V. N. *Zhurn. analit. khimii*. 2018. Vol. 73. No. 10. Pp. 727–738.
13. Gus'kov V. Yu., Suhareva D. A., Gainullina Yu. Yu., Hamitov Ed. M., Galkin Yev. G. and Maistrenko V. N. *Supramolecular Chemistry*. 2018. Vol. 30. No. 11. Pp. 940–948.
14. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Ivanov S. P. and Kudasheva F. Kh. *J. Chromatogr. A*. 2014. Vol. 1356. Pp. 230–235.
15. Gus'kov V. Y., Gainullina Y. Y., Suhareva D. A., Sidel'nikov A. V., Kudasheva F. K. *IJAC*. 2016. Vol. 12. No 3. Pp. 359–374.
16. Gus'kov V. Yu., Gainullina Yu. Yu., Kudasheva F. Kh. *Analitika i kontrol'*. 2014. Vol. 18. No. 2. Pp. 178–181.
17. Gus'kov V. Y., Suhareva D. A., Arslanova I. V., Musabirov D. Ed. *Gas-Chromatographic separation of enantiomers of 2-chlorobutan and 2-bromobutan on cyanuric acid-modified Carbolblack C adsorbent*. *J. Analit. Chem.* 2017. Vol. 72. No. 10. Pp. 1089–1094.
18. Nafikova A. R., Allayarova D. A., Gus'kov V. Yu. *Zhurn. analit. khim.* 2019. Vol. 74. No. 6. Pp. 415–420.
19. Gainullina Yu. Yu., Timofeeva D. V., Ivanov S. P., and Gus'kov V. Yu. *J. Phys. Chem. A*. 2019. Vol. 93, No. 6. Pp. 1007–1012.
20. Thomas R. and Kulkarni G. U. *Beilstein J. Org. Chem.* 2007. Vol. 3. No. 17. Pp. 1–4.
21. 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. Pp. 4209–4218.
22. Gardener J. A., Shvarova O. Y., Briggs G. A. D., Castell M. R. *J. Phys. Chem.* 2010. Vol. 114. Pp. 5859–5866.
23. Gainullina Yu. Yu., Gus'kov V. Yu. *Zhurn. fiz. khim.* 2017. Vol. 91. No. 10. Pp. 1176–1781.

*Received 18.12.2019.*