

## СОРБЦИЯ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ МОЛЕКУЛЯРНО-ИМПРИНТИРОВАННЫМИ ПОЛИМЕРАМИ

Као Ньят Линь, А.Н. Зяблов, О.В. Дуванова, В.Ф. Селеменев

Као Ньят Линь, Александр Николаевич Зяблов, Ольга Васильевна Дуванова\*, Владимир Федорович Селеменев  
Кафедра аналитической химии, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,  
Воронеж, Российская Федерация, 394018  
E-mail: alex-n-z@yandex.ru

*Молекулярно-импринтированные полимеры синтезированы в качестве селективного покрытия пьезоэлектрических сенсоров для определения карбоновых кислот в промежуточных фракциях получения ректифицированного этилового спирта. Молекулярно-импринтированные полимеры получены путем реорганизации и имидизации цепей полиамидокислоты в N,N-диметилформамиде в присутствии темплата методом нековалентного импринтинга. Для оценки способности молекулярно-импринтированных полимеров распознавать свои темплаты изучены их сорбционные свойства по сравнению с полиимидом в статическом режиме методом прямой кондуктометрии. Время установления равновесия для полиимида и молекулярно-импринтированных полимеров с отпечатками уксусной, пропионовой, масляной кислот составляет 40-80 мин. Вид изотермы сорбции уксусной кислоты характерен для полимерных материалов с микропорами. При сорбции уксусной кислоты при низких концентрациях растворитель-этанол сильно конкурирует с адсорбированным веществом из-за близких молекулярных размеров и присутствия функциональной группы -ОН. Вид изотерм сорбции пропионовой и масляной кислот относится к типу мономолекулярной адсорбции. Сорбция карбоновых кислот полиимидом с молекулярными отпечатками осуществляется преимущественно за счет образования водородных связей между карбоксильными группами адсорбента и адсорбата. По данным сорбции рассчитаны степени извлечения, коэффициенты распределения и значения импринтинг-фактора ( $IF=3,0-15,1$ ). Показано, что молекулярно-импринтированные полимеры с отпечатками карбоновых кислот обладают лучшей сорбционной способностью по отношению к молекулам кислот, чем их полимеры сравнения. При этом наибольшей сорбционной способностью обладает полимер с отпечатком масляной кислоты. Таким образом, установлена возможность применения молекулярно-импринтированных полимеров с отпечатками карбоновых кислот на основе полиимида в качестве селективного покрытия пьезосенсоров.*

**Ключевые слова:** карбоновые кислоты, полиимид, сорбция, молекулярно-импринтированные полимеры, импринтинг-фактор

## SORPTION OF CARBOXYLIC ACIDS BY MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS

Cao Nhat Linh, A.N. Zyablov, O.V. Duvanova, V.F. Selemenев

Cao Nhat Linh, Alexander N. Zyablov, Olga V. Duvanova\*, Vladimir F. Selemenев  
Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018,  
Russia  
E-mail: alex-n-z@yandex.ru\*

*Molecularly imprinted polymers were synthesized as selective coatings of piezoelectric sensors for determination of carboxylic acids in the intermediate fractions of rectified ethanol. Molecularly imprinted polymers were obtained by reorganizing and imidizing polyamic acid chains in N,N-dimethylformamide in the presence of a template by the non-covalent imprinting method. The ability of molecularly imprinted polymers to recognize the target templates was evaluated by studying their sorption properties in comparison with non-imprinted polymers using direct conductometry in static mode. The equilibrium time of polyimide and molecularly imprinted polymers for acetic, propionic, butyric acids is in the range of 40 - 80 min. The type of sorption isotherm of acetic*

*acid is characteristic of polymeric materials with micropores. During the sorption of acetic acid at low concentrations, the solvent-ethanol strongly competes with the adsorbed substance due to the close molecular sizes and the presence of group -OH. The type of sorption isotherms of propionic and butyric acids refers to the monomolecular adsorption. The sorption of carboxylic acids by molecularly imprinted polyimide is carried out mainly due to the formation of hydrogen bonds between carboxyl groups of adsorbent and adsorbate. According to the sorption data, the degrees of extraction, distribution coefficients, and imprinting factor values were calculated ( $IF = 3.0-15.1$ ). It is shown that the molecularly imprinted polymers for carboxylic acids have better sorption ability to acid molecules than their non-imprinted polymers. At the same time, the molecularly imprinted polymer for butyric acid has the highest sorption capacity. Thus, the possibility of using molecularly imprinted polymers for carboxylic acids based on polyimide as selective coatings of piezosensors has been established.*

**Key words:** carboxylic acids, polyimide, sorption, molecularly imprinted polymers, imprinting factor

**Для цитирования:**

Као Ньят Линь, Зяблов А.Н., Дуванова О.В., Семенов В.Ф. Сорбция карбоновых кислот молекулярно-импринтированными полимерами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 71–76

**For citation:**

Cao Nhat Linh, Zyablov A.N., Duvanova O.V., Selemenev V.F. Sorption of carboxylic acids by molecularly imprinted polymers. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 2. P. 71–76

## ВВЕДЕНИЕ

Карбоновые кислоты и их производные находят применение в различных областях химической и пищевой промышленности. Однако в ряде случаев карбоновые кислоты могут выступать в качестве примесей, ухудшая свойства конечного продукта. Так производство ректификованного этанола сопряжено с появлением карбоновых кислот, таких как уксусная, пропионовая и масляная кислоты [1]. В настоящее время для контроля химического состава технологических сред в процессе получения спирта используют хроматографические методы, требующие дорогостоящего оборудования, стандартных растворов и высокой квалификации обслуживающего персонала [2-5]. В связи с чем возникает необходимость в разработке простых, надежных и дешевых способов экспрессного контроля содержания примесей в технологических растворах на различных этапах производства этанола. Для решения этой задачи перспективно использование пьезоэлектрических сенсоров, селективность которых достигается модифицированием поверхности их электродов различными сорбентами, в частности молекулярно-импринтированными полимерами (МИП) [6, 7]. При этом особый интерес представляют МИП на основе полиимида, которые получают путем реорганизации и имидизации цепей полиамидокислоты (ПАК) в присутствии темплата [8-10]. Поскольку сенсоры на основе МИП разрабатывают для работы в жидких средах, для успешного применения сенсоров необходимо исследовать сорбционные свойства МИП.

Целью работы было изучение сорбции карбоновых кислот молекулярно-импринтированными полимерами и их полимерами сравнения на основе полиимида ПМ.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе для синтеза молекулярно-импринтированных полимеров использовали полиамидокислоту (продукт АД-9103 ТУ-6-19-283-85 – ароматический сополимер 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом синтезирован на ОАО МИПП НПО «Пластик», г. Москва) в N,N-диметилформамиде [11, 12].

Молекулярно-импринтированные полимеры с отпечатками карбоновых кислот получали следующим образом. Вначале готовили полимеризационную смесь (1:1), содержащую продукт АД-9103 ТУ-6-19-283-85 и спиртовой раствор карбоновых кислот. Затем проводили термоимидизацию при 80 °С в течение 1 ч и при 180 °С в течение 30 мин. После чего пленки полимеров охлаждали и помещали на 24 ч в дистиллированную воду для экстракции темплата из полимеров [13-16].

В работе использовали молекулярно-импринтированные полимеры с отпечатками уксусной (МИП-Acetic), пропионовой (МИП-Propionic), масляной (МИП-Butyric) кислот. В идентичных условиях, но в отсутствие темплата, получали полимер сравнения (ПС).

Изучение сорбции карбоновых кислот на молекулярно-импринтированных полимерах и полимерами сравнения проводили в статическом режиме. Концентрацию исследуемых веществ определяли в растворах над полимером методом прямой кондуктометрии на приборе ССТ-3320Т в режиме on-line с шагом измерений 1 с. В стакан вносили 30 см<sup>3</sup> исследуемого раствора, погружали электрод и засыпали точную навеску сорбента (0,03±0,0002 г). Измерения проводили при температуре 20±1 °С. Этанольные растворы карбоновых

кислот готовили в диапазоне концентраций  $1 \cdot 10^{-5}$ – $0,1$  ммоль/см<sup>3</sup> из стандартных растворов квалификации «ч.д.а.».

Количество карбоновой кислоты, адсорбированной на полимерах, рассчитывали, как отношение разности концентраций кислоты в растворе до и после сорбции, отнесенной к единице массы полимера:

$$A = \frac{(C_0 - C_{\text{равн}}) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

где  $A$  – количество сорбированной карбоновой кислоты, ммоль/г;  $C_0$  – исходная концентрация карбоновой кислоты в растворе, ммоль/см<sup>3</sup>;  $C_{\text{равн}}$  – равновесная концентрация карбоновой кислоты в растворе после сорбции, ммоль/см<sup>3</sup>;  $m$  – масса полимера, г;  $V$  – объем раствора, см<sup>3</sup>.

По полученным данным рассчитывали степень извлечения ( $R, \%$ ) и коэффициент распределения ( $D$ ):

$$R, \% = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $C_0$  – концентрация определяемой кислоты в растворе до сорбции, ммоль/см<sup>3</sup>;  $C$  – концентрация кислоты в растворе после сорбции, ммоль/см<sup>3</sup>.

$$D = \frac{R}{100 - R} \cdot \frac{V}{m}, \quad (3)$$

где  $V$  – объем анализируемого раствора, дм<sup>3</sup>;  $m$  – масса сорбента, г.

Способность молекулярно-импринтированных полимеров с отпечатками карбоновых кислот распознавать молекулу-темплат оценивали с помощью импринтинг-фактора:

$$IF = \frac{D_{\text{ИМО}}}{D_{\text{ПС}}}, \quad (4)$$

где  $D_{\text{ИМО}}$  – коэффициент распределения вещества на полимере с молекулярными отпечатками,  $D_{\text{ПС}}$  – коэффициент распределения вещества на полимере сравнения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе проведена количественная оценка способности молекулярно-импринтированных полимеров и их полимеров сравнения сорбировать карбоновые кислоты из жидкостей. По кинетическим кривым сорбции определяли время установления равновесия. Оно составляет: для полиимида 80 мин, для МИП-Acetic – 60 мин, МИП-Propionic и МИП-Butyric – 40 мин.

Вид изотермы сорбции уксусной кислоты (рис. 1) соответствует S – типу изотермы мономолекулярной адсорбции. Этот тип изотермы свойственен полимерным материалам, имеющим микропоры. Изотермы сорбции уксусной кислоты для МИП и его полимера сравнения имеют сходный характер.

Начальный участок изотермы уксусной кислоты имеет вогнутую форму, характерную для систем, когда силы взаимодействия адсорбент – адсорбат меньше сил межмолекулярных взаимодействий адсорбат – адсорбат. По квантово-химическим расчетам энергия взаимодействия молекулы уксусной кислоты с ПАК больше энергии взаимодействия молекулы этой кислоты в своих ассоциатах [17]. Это явление сорбции может объясняться ролью растворителя в конкуренции с адсорбированным веществом. Особенно когда размеры молекулы уксусной кислоты соизмеримы с растворителем и этанол также имеет одну группу -ОН. Сильная адсорбция растворителя на полимерах может вытеснять адсорбированное вещество. Кроме этого, взаимодействия адсорбат – адсорбент могут ослабляться взаимодействиями адсорбат – растворитель и образованием сольватационных оболочек у кислот.

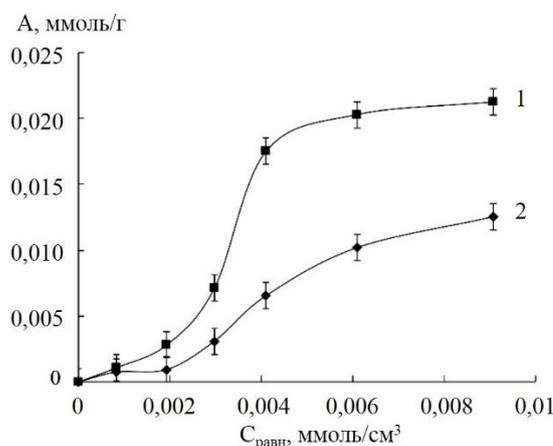


Рис. 1. Изотерма сорбции уксусной кислоты: 1 – МИП; 2 – ПС  
Fig. 1. Isotherm of sorption of acetic acid: 1 – MIP; 2 – PS

При низких концентрациях из-за слабого взаимодействия адсорбент – адсорбат поглощение уксусной кислоты мало. Однако, как скоро молекула оказывается адсорбированной, силы взаимодействия адсорбат – адсорбат промотируют дальнейшую адсорбцию, процесс имеет кооперативный характер. Крутизна изотермы адсорбции обусловлена полным заполнением молекулами адсорбата пространства микропор. На изотерме точка перегиба находится при равновесной концентрации около 3 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Вид изотерм сорбции пропионовой (рис. 2) и масляной кислот (рис. 3) МИП характерен для микропористых сорбентов и относится к L – типу мономолекулярной адсорбции. Сорбция осуществляется преимущественно за счет образования водородных связей между карбоксильными группами адсорбента и адсорбата [18]. В классе L изотерм силовые поля соседних стенок микропор перекрываются и энергия взаимодействия МИП с молекулой

кислоты возрастает. Такое взаимодействие может быть достаточно сильным, чтобы полное заполнение пор происходило при очень низкой относительной концентрации [19]. Для изотерм этого класса также характерно отсутствие конкуренции со стороны растворителя.

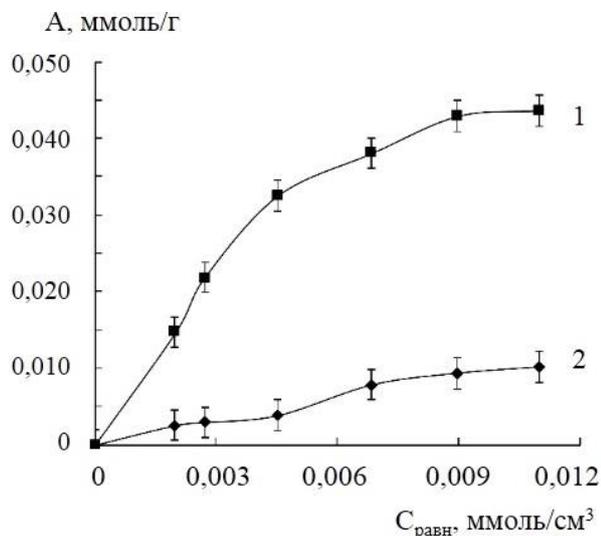


Рис. 2. Изотерма сорбции пропионовой кислоты: 1 – МИП; 2 – ПС  
Fig. 2. Isotherm of sorption of propionic acid: 1 – MIIP; 2 – PS

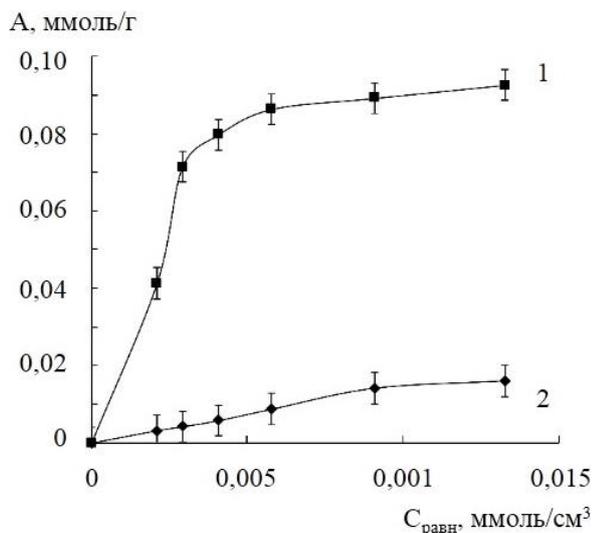


Рис. 3. Изотерма сорбции масляной кислоты: 1 – МИП; 2 – ПС  
Fig. 3. Isotherm of sorption of butyric acid: 1 – MIIP; 2 – PS

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Никитина С.Ю.** Схемотехника и методики расчёта брагоректификационных установок. Воронеж: ВГАСУ. 2013. 208 с.
2. Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects. Ed. by Buglass A.J. John Wiley & Sons, Ltd. 2011. 1204 p.

Рассчитанные степени извлечения, коэффициенты распределения и импринтинг-фактор представлены в таблице.

Таблица

Степени извлечения (R%), коэффициенты распределения (D) карбоновых кислот и значение импринтинг-фактора (IF)

Table. The degrees of extraction (R%), distribution coefficients (D) of carboxylic acids and values of imprinting factor (IF)

Сорбент	R, %	S <sub>r</sub> , %	D, дм <sup>3</sup> /г	S <sub>r</sub> , %	IF	S <sub>r</sub> , %
ПС	54±1,2	1,2	1	1,2	3,0	0,14
МИП-Acetic	78±1,4	1,5	4	1,3		
ПС	57±2	1,9	1	0,6	4,3	0,2
МИП-Propionic	85±2	3	6	1,5		
ПС	22±0,9	5	0,3	1,8	15,1	0,2
МИП-Butyric	81±1,3	1,4	4	1,2		

Из таблицы видно, что значения импринтинг-фактора для МИП с отпечатками карбоновых кислот увеличиваются в ряду: МИП-Acetic<МИП-Propionic<МИП-Butyric. Таким образом, молекулярно-импринтированные полимеры с отпечатками карбоновых кислот обладают лучшей сорбционной способностью по отношению к молекулам кислот, чем их полимеры сравнения. Установлено, что наибольшей сорбционной способностью обладает МИП с отпечатком масляной кислоты [20, 21].

#### ВЫВОДЫ

В ходе исследования сорбции карбоновых кислот молекулярно-импринтированными полимерами показано, что наибольшей сорбционной способностью обладает полимер с отпечатком масляной кислоты. Установлена возможность использования молекулярно-импринтированных полимеров на основе полиимида в качестве селективного покрытия пьезосенсоров.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2017-2019 годы. Проект № 1.4539.2017/8.9.*

#### REFERENCES

1. **Nikitina S.Yu.** Circuitry and the rectification installations calculation methods. Voronezh: VGASU. 2013. 208 p. (in Russian).
2. Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects. Ed. by Buglass A.J. John Wiley & Sons, Ltd. 2011. 1204 p.

3. **Никитина С.Ю., Шахов С.В., Пыльный Д.В., Рудаков О.Б.** Аналитический контроль качества ректифицированного этанола, водок и спиртовых дистиллятов. *Пищ. пром-ть*. 2018. № 6. С. 57-60.
4. **Рудаков О.Б., Никитина С.Ю.** Тренды в аналитическом контроле качества питьевого этанола. *Аналитика и контроль*. 2017. Т. 21. № 3. С. 180-196. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.3.010.
5. **Савчук С.А., Нужный В.П., Рожанец В.В.** Химия и токсикология этилового спирта и напитков, изготовленных на его основе. Хроматографический анализ спиртных напитков. М.: Ленанд. 2017. 184 с.
6. **Калач А.В., Зяблов А.Н., Селеменев В.Ф.** Сенсоры в анализе газов и жидкостей. Воронеж: ЛИО. 2011. 240 с.
7. **Yan S., Fang Y., Gao Z.** Quartz crystal microbalance for the determination of daminozide using molecularly imprinted polymers as recognition element. *Biosen. Bioelect.* 2007. V. 22. N 6. P. 1087-1091. DOI: 10.1016/j.bios.2006.03.007.
8. **Зяблов А.Н., Калач А.В., Жиброва Ю.А., Селеменев В.Ф., Дьяконова О.В.** Определение глицина в водных растворах пьезосенсором модифицированным полимером с молекулярным отпечатком. *Журн. аналит. химии*. 2010. Т. 65. № 1. С. 93-95.
9. **Дмитриенко Е.В., Пышная И.А., Мартыанов О.Н., Пышный Д.В.** Молекулярно-импринтированные полимеры для биомедицинских и биотехнологических применений. *Усп. химии*. 2016. Т. 85. № 5. С. 513-536.
10. **Dmitrienko E.V., Bulushev R.D., Haupt K., Kosolobov S.S., Latyshev A.V., Pyshnaya I.A., Pyshnyi D.V.** A simple approach to prepare molecularly imprinted polymers from nylon-6. *J. Molec. Recognit.* 2013. V. 26. N 8. P. 368-375. DOI: 10.1002/jmr.2281.
11. **Зяблов А.Н., Говорухин С.И., Дуванова О.В., Селеменев В.Ф., Нгуен А.Т.** Проточно-инжекционное определение валина пьезокварцевым сенсором, модифицированным полимером с молекулярными отпечатками. *Аналитика и контроль*. 2014. Т. 18. № 4. С. 438-441.
12. **Володина Л.В., Дуванова О.В., Зяблов А.Н., Селеменев В.Ф., Соколова С.А., Дьяконова О.В., Фалалеев А.В.** Анализ структуры и состава полимеров с молекулярными отпечатками олеиновой и пальмитиновой кислот. *Сорбц. и хроматограф. проц.* 2014. Т. 14. Вып. 1. С. 111-120.
13. **Хальзова С.А., Кривоносова Д.А., Зяблов А.Н., Дуванова О.В.** Определение синтетических красителей E102, E10, E122 и E124 в безалкогольных напитках модифицированными пьезосенсорами. *Аналитика и контроль*. 2017. Т. 21. № 2. С. 85-92. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.2.006.
14. **Зяблов А.Н., Хальзова С.А., Селеменев В.Ф.** Сорбция красных пищевых красителей полимерами с молекулярными отпечатками. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2017. Т. 60. Вып. 7. С. 42-47. DOI: 10.6060/tcct.2017607.5595.
15. **Дуванова О.В., Кривоносова И.А., Зяблов А.Н., Фалалеев А.В., Селеменев В.Ф., Соколова С.А.** Применение пьезоэлектрических сенсоров для определения олеиновой и пальмитиновой кислот в растительных маслах. *Завод. лаборатория. Диагностика материалов*. 2017. Т. 83. № 2. С. 18-22.
16. **Дуванова О.В., Володина Л.В., Зяблов А.Н., Гречкина М.В., Семилетова Е.С., Синяева Л.А., Козлов А.Т.** Анализ морфологии поверхности полимеров с молекулярными отпечатками олеиновой и пальмитиновой кислот. *Сорбц. и хроматограф. проц.* 2013. Т. 13. Вып. 6. С. 884-890.
3. **Nikitina S.Yu., Shakhov S.V., Pyl'nyi D.V., Rudakov O.B.** Analytical quality control of rectified ethanol, vodka and alcohol distillates. *Pishch. Prom-t'*. 2018. N 6. P. 57-60 (in Russian).
4. **Rudakov O.B., Nikitina S.Yu.** Trends in the analytical quality control of the potable ethanol. *Anal. Kontrol.* 2017. V. 21. N 3. P. 180-196 (in Russian). DOI: 10.15826/analitika.2017.21.3.010.
5. **Savchuk S.A., Nuzhnyi V.P., Rozhanets V.V.** Chemistry and toxicology of ethyl alcohol and beverages made from it. Chromatographic analysis of alcoholic beverages. M.: Lenand. 2017. 184 p. (in Russian).
6. **Kalach A.V., Zyablov A.N., Selemenev V.F.** Sensors in the analysis of gases and liquids. Voronezh: LIO. 2011. 240 p. (in Russian).
7. **Yan S., Fang Y., Gao Z.** Quartz crystal microbalance for the determination of daminozide using molecularly imprinted polymers as recognition element. *Biosen. Bioelect.* 2007. V. 22. N 6. P. 1087-1091. DOI: 10.1016/j.bios.2006.03.007.
8. **Zyablov A.N., Kalach A.V., Zhibrova Yu.A., Selemenev V.F., D'yakonova O.V.** Determination of glycine in aqueous solutions using a molecularly imprinted polymer-modified piezosensor. *Zhurn. Anal. Khim.*. 2010. V. 65. N 1. P. 91-93 (in Russian). DOI: 10.1134/S106193481001017X.
9. **Dmitrienko E.V., Pyshnaya I.A., Martyanov O.N., Pyshnyi D.V.** Molecularly imprinted polymers for biomedical and biotechnological applications. *Usp. Khim.* 2016. V. 85. N 5. P. 513-536 (in Russian). DOI: 10.1070/RCR4542.
10. **Dmitrienko E.V., Bulushev R.D., Haupt K., Kosolobov S.S., Latyshev A.V., Pyshnaya I.A., Pyshnyi D.V.** A simple approach to prepare molecularly imprinted polymers from nylon-6. *J. Molec. Recognit.* 2013. V. 26. N 8. P. 368-375. DOI: 10.1002/jmr.2281.
11. **Zyablov A.N., Govorukhin S.I., Duvanova O.V., Selemenev V.F., Nguyen A.T.** Flow-injection determination of valine with piezoelectric sensors, modified by molecular imprinted polymers. *Anal. Kontrol.* 2014. V. 18. N 4. P. 438-441 (in Russian).
12. **Volodina L.V., Duvanova O.V., Zyablov A.N., Selemenev V.F., Sokolova S.A., D'yakonova O.V., Falaleev A.V.** Analysis of the structure and composition of polymers using molecular imprints of oleic and palmitic acids. *Sorbts. Khromatograf. Prots.* 2014. V. 14. N 1. P. 111-120 (in Russian).
13. **Khalzova S.A., Krivonosova D.A., Zyablov A.N., Duvanova O.V.** Determination of E102, E110, E122, E124 synthetic dyes in soft drinks by modified piezosensors. *Anal. Kontrol.* 2017. V. 21. N 2. P. 85-92 (in Russian). DOI: 10.15826/analitika.2017.21.2.006.
14. **Zyablov A.N., Khalzova S.A., Selemenev V.F.** Sorption of red food coloring polymers with molecular imprints. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 7. P. 42-47 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.2017607.5595.
15. **Duvanova O.V., Krivonosova I.A., Zyablov A.N., Falaleev A.V., Selemenev V.F., Sokolova S.A.** Application of piezoelectric sensors to detection of oleic and palmitic acids in vegetable oils. Industrial laboratory. *Diagn. Mater.* 2017. V. 83. N 2. P. 18-22 (in Russian).
16. **Duvanova O.V., Volodina L.V., Zyablov A.N., Grechkina M.V., Semiletova E.S., Siniaeva L.A., Kozlov A.T.** Analysis of the surface morphology of polymers with molecular imprints of oleic and palmitic acids. *Sorbts. Khromatograf. Prots.* 2013. V. 13. N 6. P. 884-890 (in Russian).

17. **Мишина А.А., Зяблов А.Н., Семенов В.Ф.** Моделирование полимеров с молекулярными отпечатками глицина на основе полиамидокислоты и коллоксилина. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2010. Т. 53. Вып. 4. С. 20-24.
18. **Као Ньят Линь, Дуванова О.В., Зяблов А.Н.** Применение полимера с молекулярными отпечатками на основе полиимида в качестве селективного покрытия пьезосенсора для определения олеиновой кислоты в маслах. *Аналитика и контроль*. 2019. Т. 23. № 1. С. 120-126. DOI: 10.15826/analitika.2019.23.1.006.
19. **Вячеславов А.С., Ефремова М.** Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов. М.: МГУ. 2011. 65 с.
20. **Као Ньят Линь, Дуванова О.В., Никитина С.Ю., Зяблов А.Н.** Применение пьезосенсоров для определения карбоновых кислот в промежуточных продуктах производства пищевого этанола. *Завод. лаборатория. Диагностика материалов*. 2019. Т. 85. № 4. С. 11-16. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-4-11-16.
21. **Као Ньят Линь, Акимова М.Г., Зяблов А.Н.** Определение уксусной кислоты в промежуточных фракциях производства этанола модифицированным. *Сорбц. и хроматограф. проц.* 2019. Т. 19. № 1. С. 30-36. DOI: 10.17308/sorpchrom.2019.19/645.
17. **Mishina A.A., Zyablov A.N., Selemenev V.F.** Modeling of molecularly imprinted polymers for glycine based on polyamic acid and colloxylin. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2010. V. 53. N 4. P. 20-24 (in Russian).
18. **Cao Nhat Linh, Duvanova O.V., Zyablov A.N.** Application of a molecularly imprinted polymer based on the polyimide as a piezosensor selective coating for determining the oleic acid in oils. *Anal. Kontrol.* 2019. V. 23. N 1. P. 120-126 (in Russian). DOI: 10.15826/analitika.2019.23.1.006.
19. **Vyacheslavov A.S., Efremova M.** Determination of surface area and porosity of materials by the method of gas sorption. М.: MGU. 2011. 65 p. (in Russian).
20. **Cao Nhat Linh, Duvanova O.V., Nikitina S.Iu., Zyablov A.N.** Application of piezosensors for determining carboxylic acids in intermediate products of edible ethanol production. *Zav. Lab. Diagn. Mater.* 2019. V. 85. N 4. P. 11-16 (in Russian). DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-4-11-16.
21. **Cao Nhat Linh, Akimova M.G., Zyablov A.N.** Determination of the acetic acid in intermediate fractions of ethanol production by modified piezosensor. *Sorbts. Khromatograf. Prots.* 2019. V. 19. N 1. P. 30-36 (in Russian). DOI: 10.17308/sorpchrom.2019.19/645.

Поступила в редакцию 27.05.2019  
Принята к опубликованию 22.10.2019

Received 27.05.2019  
Accepted 22.10.2019