

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБАТА КАЛИЯ И БЕНЗОАТА НАТРИЯ
В БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКАХ ПЬЕЗОСЕНСОРАМИ
НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ИМПРИНТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ**

Бу Хоанг Иен, А.Н. Зяблов

Бу Хоанг Иен (ORCID 0000-0001-6279-8693)

Кафедра аналитической химии, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, Воронеж, Российская Федерация, 394018

Кафедра Менеджмента качества и безопасности пищевых продуктов, Пищевой Промышленный Университет Хошимина, Ле Чонг Тан, 140, Хошимин, Вьетнам, 72009

E-mail: yenvh@hufi.edu.vn

Александр Николаевич Зяблов (ORCID 0000-0001-9134-464X)*

Кафедра аналитической химии, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, Воронеж, Российская Федерация, 394018

E-mail: alex-n-z@yandex.ru*

В пищевой промышленности широко используются такие консерванты, как сорбат калия и бензоат натрия. Контроль за их содержанием в пищевых продуктах является необходимым, поскольку превышение их допустимых концентраций может влиять на здоровье человека. Для определения содержания сорбата калия и бензоата натрия в безалкогольных напитках использовали пьезоэлектрические сенсоры, модифицированные молекулярно-импринтированными полимерами (МИП), полученными на основе сополимера диангирида 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом в N, N-диметилформамиде в присутствии водно-спиртового раствора сорбата калия и бензоата натрия методом нековалентного импринтинга непосредственно на поверхности электрода пьезосенсора. Для оценки селективности и способности распознавать целевые молекулы были рассчитаны значения импринтинг-фактора (IF) и коэффициент селективности сенсоров. На основании полученных данных установлено, что молекулярно-импринтированные полимеры с отпечатками сорбата калия и бензоата натрия обладают лучшей селективностью и способностью распознавать целевые молекулы сорбата калия и бензоата натрия, чем полимеры без отпечатков. В ходе работы экспериментально установлены диапазоны определяемых концентраций (5 - 500 мг/л) и пределы обнаружения сорбата калия (1,6 мг/л) и бензоата натрия (2 мг/л). Проведено сравнение результатов определения сорбата калия и бензоата натрия в безалкогольных напитках пьезосенсорами с методом спектрофотометрии. Разность результатов определения не превышает 10%, что свидетельствует об отсутствии значимой разницы между двумя методами при определении этих консервантов. Таким образом, установлена возможность применения молекулярно-импринтированных полимеров с отпечатками сорбата калия и бензоата натрия на основе пьезосенсора для их определения в безалкогольных напитках.

Ключевые слова: консерванты, сорбат калия, бензоат натрия, полиимид, молекулярно-импринтированные полимеры, импринтинг-фактор

**DETERMINATION OF POTASSIUM SORBATE AND SODIUM BENZOATE
IN NON-ALCOHOLIC DRINKS WITH PIEZOSENSORS BASED
ON MOLECULAR-IMPRINTED POLYMERS**

Vu Hoang Yen, A.N. Zyablov

Vu Hoang Yen (ORCID 0000-0001-6279-8693)

Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Russia

Department of Food Safety and Quality Management, Ho Chi Minh City University of Food Industry, 140 Le Trong Tan, Ho Chi Minh City, 72009, Vietnam

E-mail: yenvh@hufi.edu.vn

Alexander N. Zyablov (ORCID 0000-0001-9134-464X)*

Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Russia

E-mail: alex-n-z@yandex.ru*

Preservatives such as potassium sorbate and sodium benzoate are commonly used in the food industry. It is necessary to control the content of preservatives in food products, because exceeding the permissible limit of the concentration can affect human health. To determine the contents of potassium sorbate and sodium benzoate in non-alcoholic drinks, a piezoelectric sensor based on molecularly imprinted polymers (MIPs) was used. Molecularly imprinted polymers were synthesized by copolymer of dianhydride 1,2,4,5-benzenetetracarboxylic acid with 4,4'-diaminodiphenyl oxide in N,N-dimethylformamide in the presence of a template by the non-covalent imprinting method. To assess the selectivity and ability to recognize target molecules, the values of the imprinting factor and the selectivity coefficient of the sensors were calculated. Based on the data obtained, it was found that molecularly imprinted polymers with imprints of potassium sorbate and sodium benzoate had better selectivity and ability to recognize target potassium sorbate and sodium benzoate molecules than polymers without imprints. In this study, the ranges of determined concentrations (5-500 mg/l) and detection limits of potassium sorbate (1.6 mg/l) and sodium benzoate (2 mg/l) were experimentally established. The results of the determination of potassium sorbate and sodium benzoate in non-alcoholic drinks by piezosensors were compared with the spectrophotometric method. It had been established that the difference in the determination results did not exceed 10%. Thus, the possibility of using piezosensor based on molecularly imprinted polymers with imprints of potassium sorbate and sodium benzoate for their determination in non-alcoholic drinks has been established.

Key words: preservatives, potassium sorbate, sodium benzoate, polyimide, molecularly imprinted polymers, imprinting factor

Для цитирования:

Ву Хоанг Иен, Зяблов А.Н. Определение сорбата калия и бензоата натрия в безалкогольных напитках пьезосенсорами на основе молекулярно-импринтированных полимеров. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 10. С. 14–20. DOI: 10.6060/ivkkt.20226510.6584.

For citation:

Vu Hoang Yen, Zyablov A.N. Determination of potassium sorbate and sodium benzoate in non-alcoholic drinks with piezosensors based on molecular-imprinted polymers. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 10. P. 14–20. DOI: 10.6060/ivkkt.20226510.6584.

ВВЕДЕНИЕ

Консерванты широко применяются в пищевой промышленности. Они используются для замедления роста микроорганизмов, сохранения

пищевой ценности, продления срока годности и других свойств пищевых продуктов [1]. Одними из наиболее часто используемых пищевых химических консервантов являются сорбат калия (E202) и бензоат натрия (E211) [2].

Сорбиновая кислота и ее соли разрешены для использования во многих пищевых продуктах [3]. Они считаются безопасными и безвредными, поскольку не накапливаются в организме человека, но, тем не менее, возможна аллергическая реакция на сорбат калия, а сорбиновая кислота способна вызвать раздражение кожи, сыпь, астму и гиперактивность [2, 4].

Бензойная кислота и ее соли обладают эффективным противомикробным действием в пищевых продуктах с $pH < 4,5$ и практически неэффективны в пищевых продуктах с нейтральными значениями pH [3]. При этом бензойная кислота и ее соли являются аллергенами для чувствительных людей [5-7].

Требование к содержанию консервантов регламентировано Таможенным союзом. Предельно допустимая концентрация (ПДК) сорбиновой и бензойной кислот и их солей в безалкогольных напитках составляет 300 мг/л и 150 мг/л соответственно [8].

Для анализа сорбатов и бензоатов в пищевых продуктах часто используют методы: УФ-спектроскопию и высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ). Наиболее распространен для обнаружения и количественного определения этих консервантов в пищевых продуктах метод ВЭЖХ [9-14]. Однако у него есть недостатки: сложная пробоподготовка, громоздкое и дорогостоящее оборудование и длительное время анализа. Кроме того, зачастую требуется проведение анализа во внелабораторных условиях, в связи с этим актуальна разработка экспресс-методов анализа, в частности, реализуемых с помощью химических сенсоров.

Одними из перспективных являются пьезосенсоры на основе молекулярно-импринтированных полимеров (МИП). МИП – новый класс полимеров, обладающих высокой стабильностью, селективностью и способностью распознавать целевые молекулы. Благодаря этим свойствам, их используют в качестве селективных элементов химических сенсоров [15-23].

Целью работы было определение сорбата калия (E202) и бензоата натрия (E211) в безалкогольных напитках пьезосенсорами на основе молекулярно-импринтированных полимеров.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве сенсора использовали пьезоэлектрические кварцевые резонаторы АТ-среза с серебряными электродами диаметром 5 мм (ОАО

«Пьезокварц», Москва) с номинальной резонансной частотой 4,6 МГц.

На поверхность электродов пьезосенсора наносили предполимеризационную смесь, содержащую сополимер диангирида 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом (ОАО МИПП НПО «Пластик», г. Москва) и консерванты в водно-спиртовом растворе. Затем сенсоры помещали в сушильный шкаф и проводили термоимидизацию в два этапа. На первом этапе при 80 °С в течение 1 ч проходило удаление основной массы растворителя, затем на втором этапе при 180 °С в течение 30 мин проходил процесс отщепления воды с образованием имидных связей, а также удаление остатков растворителя из полученного материала [24]. После этого сенсоры охлаждали до комнатной температуры и помещали на 24 ч в дистиллированную воду для удаления темплата. В тех же условиях, но без добавления темплата, был получен чистый полиимид – полимер сравнения (ПС) [25-28].

Для измерения частоты колебаний использовали установку, состоящую из USB-частотомера MP732, портативного генератора и пьезоэлектрического сенсора (рисунок) [29].



Рис. Схема установки для определения сорбата калия и бензоата натрия [29]

Fig. Diagram of the setup for the identification of potassium sorbate and sodium benzoate [29]

Определение сорбата калия и бензоата натрия проводили методом градуировочного графика. Для этого готовили стандартный раствор (производства "Ningbo Wanglong Tech", Китай, степень чистоты 99%) по навеске, взятой на аналитических весах, а затем из стандартного раствора методом последовательного разбавления получили серию растворов в диапазоне концентраций 0,5-500,0 мг/л.

Измерения проводили следующим образом: сенсор фиксировали в горизонтальном положении, регистрировали показания частотомера на воздухе (исходные значения частоты колебаний

сенсора без нагрузки), затем на поверхность электрода наносили 1 мкл холостой пробы (дистиллированной воды), регистрировали частоту колебаний сенсора (f_1); удаляли воду фильтровальной бумагой, ждали стабилизацию показаний сенсора на воздухе в течении 5-10 с, после этого наносили 1 мкл анализируемого раствора и записывали сигнал (f_2). Считывание сигнала проводили через каждую секунду, регистрируя 10 значений, после чего раствор удаляли фильтровальной бумагой и промывали дистиллированной водой. Измерения стандартных растворов проводили начиная с минимальных концентраций.

Относительный сдвиг частоты Δf вычисляли по уравнению:

$$\Delta f = f_1 - f_2 \quad (1)$$

где f_1 – частота колебаний сенсора с дистиллированной водой, кГц; f_2 – частота колебаний сенсора с анализируемым раствором, кГц.

После измерения сенсор промывали дистиллированной водой и сушили в сушильном шкафу при 50 °С в течение 1 ч, для возвращения частоты колебания пьезосенсора к исходным значениям [28].

Для оценки способности распознавать молекулы-шаблоны пьезосенсоров с МИП рассчитывали значение импринтинг-фактора (IF):

$$IF = \frac{\Delta f_{\text{МИП}}}{\Delta f_{\text{ПС}}} \quad (2)$$

где $\Delta f_{\text{МИП}}$ – сигнал пьезосенсора на основе МИП, Гц; $\Delta f_{\text{ПС}}$ – сигнал пьезосенсора на основе полимера сравнения, Гц.

Коэффициент селективности (k) определяемого консерванта к родственными соединениям рассчитывали по уравнению:

$$k = \frac{\Delta f_{\text{МИП1}}}{\Delta f_{\text{МИП2}}} \quad (3)$$

где $\Delta f_{\text{МИП1}}$ – разностная частота колебаний сенсора с отпечатками консерванта в водных растворах постороннего консерванта (консервант, который не использовали в качестве темплата при синтезе МИП), Гц; $\Delta f_{\text{МИП2}}$ – разностная частота колебаний сенсора с отпечатком консерванта в их водных растворах, Гц.

В качестве референтного метода была выбрана спектрофотометрия. В работе использовали спектрофотометр BioSpec-mini-SHIMADZU, Япония. При определении оптической плотности растворов консервантов использовали кюветы с толщиной поглощающего слоя 1 см. Длины волн для сорбата калия 254,5 нм, бензоата натрия – 228 нм [9-11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Молекулярно-импринтированные полимеры (МИП) получают в результате молекулярного импринтинга – сополимеризации функционального мономера в присутствии молекул-шаблонов методом ковалентного или нековалентного импринтинга. В результате чего в полимерном материале возникают полости, комплементарные молекуле-шаблону (темплату) по размеру, форме и расположению функциональных групп, поэтому одной из характеристик МИП является способность их распознавать целевые молекулы [30].

В связи с этим, для оценки свойств МИП были рассчитаны импринтинг-фактор (IF) и коэффициент селективности (k), представленные в табл. 1. Высокие значения импринтинг-фактора и коэффициента селективности наблюдаются для сенсора при определении того консерванта, который использовался в качестве шаблона при синтезе МИП, т.е. молекулярно-импринтированные полимеры с отпечатками сорбата калия (E202) и бензоата натрия (E211) обладают лучшей селективностью и способностью распознавать целевые молекулы сорбата калия и бензоата натрия, чем их полимеры сравнения.

Таблица 1

Импринтинг-фактор и коэффициент селективности для пьезосенсоров на основе МИП
Table 1. The imprinting factor and the selectivity coefficient for piezosensors based on MIP

Анализируемое вещество	IF	k	IF	k
	Сенсор на основе МИП _{E202}		Сенсор на основе МИП _{E211}	
E202	5,4	1	0,3	0,17
E211	0,5	0,16	6,0	1

Определение сорбата калия (E202) и бензоата натрия (E211) в модельных растворах проводили методом градуировочного графика. Для сенсора на основе МИП_{E202} график описывается уравнением прямой вида $\Delta f_{\text{МИП}} = - (0,0838 \pm 0,0087) \cdot C + (0,2864 \pm 0,0215)$, $R^2 = 0,989$, для сенсора на основе МИП_{E211}: $\Delta f_{\text{МИП}} = - (0,1156 \pm 0,0133) \cdot C + (0,4102 \pm 0,0078)$, $R^2 = 0,985$. При этом для сенсора, модифицированного полимером сравнения, линейной зависимости не наблюдается. Экспериментально установленные метрологические характеристики для полученных сенсоров представлены в табл. 2. Диапазон определяемых концентраций 5-500 мг/л, предел обнаружения C_{min} для сорбата калия (1,6 мг/л) и для бензоата натрия (2 мг/л). Относительное стандартное отклонение S_r проведенных измерений не превышает 10%.

Таблица 2

Метрологические характеристики определения сорбата калия и бензоата натрия пьезосенсорами на основе МИП (n = 3, P = 0,95)

Table 2. The metrological characteristics of the determination of potassium sorbate and sodium benzoate by piezosensors based on MIP (n = 3, P = 0.95)

Сенсор	Определяемый консервант	Диапазон определяемых концентраций, мг/л	C _{min} , мг/л	S _r , %
МИП _{E202}	E202	5-500	1,6	6,4
МИП _{E211}	E211	5-500	2,0	7,9

Правильность определения сорбата калия и бензоата натрия в модельных растворах пьезосенсорами проверено методом «введено – найдено» (табл. 3). Показано, что разность определения исследованных консервантов пьезосенсорами на основе МИП не превышает 10%.

Апробацию пьезосенсоров на основе МИП проводили при анализе безалкогольных напитков на содержание сорбата калия и бензоата натрия. Полученные результаты представлены в табл. 4. В качестве референтного метода использовали спек-

трофотометрию. Показано, что результаты, полученные сенсорами на основе МИП и спектрофотометрически, хорошо согласуются. Также методом «введено – найдено» установлено отсутствие систематической погрешности в результатах определения сорбата калия и бензоата натрия, процент открытия близок к 100%, что свидетельствует об отсутствии мешающих веществ, присутствующих в пробе.

Таблица 3

Определение сорбата калия и бензоата натрия в модельных растворах методом «введено-найденно» (n = 5, P = 0,95)

Table 3. Determination of potassium sorbate and sodium benzoate in model solutions by the "added-found" method (n = 5, P = 0.95)

Анализируемое вещество	Концентрация, мг/л		S _r , %
	Введено	Найдено	
E202	50,0	49,3 ± 4,5	7,3
	100,0	101,6 ± 8,9	7,1
E211	50,0	51,8 ± 4,3	6,6
	100,0	100,2 ± 4,7	3,8

Таблица 4

Определение сорбата калия и бензоата натрия в безалкогольных напитках пьезосенсорами и спектрофотометрически (n = 5, P = 0,95)

Table 4. Determination of potassium sorbate and sodium benzoate in non-alcoholic drinks by piezosensors and spectrophotometric methods (n = 5, P = 0.95)

Сенсор на основе	Анализируемое вещество	Концентрация, мг/л		Процент открытия, %	S _r , %
		Введено	Найдено		
МИП _{E202}	Yes! Fruit	130,4 ± 10,2*	133,8 ± 8,0	102,6	4,8
	Чай холодный зеленый	170,4 ± 6,7*	176,3 ± 6,9	103,5	3,2
	AQUA minerale «Мята-Лайм»	124,7 ± 5,5*	130,9 ± 5,8	105,0	3,6
МИП _{E211}	Yes! Fruit	131,7 ± 9,6*	134,5 ± 4,0	102,1	2,4
	Чай холодный зеленый	140,6 ± 6,0*	146,4 ± 5,5	104,1	3,0
	AQUA minerale «Мята-Лайм»	131,2 ± 4,0*	129,4 ± 8,5	98,6	5,3

Примечания: * концентрация сорбата калия и бензоата натрия определена спектрофотометрически
 Note: * concentration of potassium sorbate and sodium benzoate was determined spectrophotometrically

ВЫВОДЫ

В работе получены пьезосенсоры, в которых в качестве селективного материала использовали молекулярно-импринтированные полимеры. Показано, что сенсоры на основе МИП с отпечатками сорбата калия и бензоата натрия имеют высокие значения импринтинг-фактора и чувствительны к целевым молекулам. Диапазоны определяемых концентраций консервантов 5-500 мг/л, пределы обнаружения сорбата калия (1,6 мг/л) и бензоата натрия (2 мг/л). Пьезосенсоры, модифи-

цированные молекулярно-импринтированными полимерами, апробированы при определении сорбата калия и бензоата натрия в безалкогольных напитках. Показано, что содержание консервантов в напитках не превышает предельно допустимых концентраций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

- Ding X.J., Xie N., Zhao S., Wu Y.C., Li J., Wang Z.** Simultaneous determination of ten preservatives in ten kinds of foods by micellar electrokinetic chromatography. *Food Chem.* 2015. V. 181. P. 207-214. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.060.
- Gören A.C., Bilsel G., Simsek A., Bilsel M., Akçadag F., Topal K., Ozgen H.** HPLC and LC-MS/MS methods for determination of sodium benzoate and potassium sorbate in food and beverages: Performances of local accredited laboratories via proficiency tests in Turkey. *Food Chem.* 2015. V. 175. P. 273-279. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.094.
- Qi P., Hong H., Liang X., Liu D.** Assessment of Benzoic Acid Levels in Milk in China. *Food Control.* 2009. V. 20. P. 414-418. DOI: 10.1016/j.foodcont.2008.07.013.
- Abdulmumeen H.A., Risikat A.N., Sururah A.R.** Food: Its preservatives, additives and applications. *Internat. J. of Biolog. Chem.* 2012. V. 1. P. 36-47. DOI: 10.13140/2.1.1623.5208.
- Pandey R.M., Upadhyay S.K.** Food Additive. Yehia El-Samragy (Ed.). IntechOpen. 2012. 272 p. DOI: 10.5772/1521.
- Kumar H., Jha A., Taneja K.K., Kabra K., Sadiq H.M.** A study on consumer awareness, safety perceptions & practices about food preservatives and flavouring agents used in packed/canned foods from south India. *Nat. J. Commun. Med.* 2013. V. 4. N 3. P. 402-406.
- Inetianbor J.E., Ykubu J.M., Ezeonu S.C.** Effects of food additives and preservatives on man - A review. *Asian J. Sci. and Technol.* 2015. V. 6. N 2. P. 1118-1135.
- Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств: технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012. от 20.07.2012 г. № 58.
- Ogunleye D.T., Oyeyiola A.O., Onwordi C.T., Falana, T.G., Abolade O.M.** Spectrophotometric and high performance liquid chromatographic determination of sodium benzoate and potassium sorbate in some soft drinks. *Unilag J. Med., Sci. Technol. (UJMST).* 2017. V. 5. N 1. P. 168-178.
- Mahboubifar M., Sobhani Z., Dehghanzadeh G., Javidnia K.** A Comparison between UV Spectrophotometer and High-performance Liquid Chromatography Method for the Analysis of Sodium Benzoate and Potassium Sorbate in Food Products. *Food Analyt. Meth.* 2010. V. 4. N 2. P. 150-154. DOI: 10.1007/s12161-010-9158-0.
- Bahremand N., Eskandari S.** Determination of Potassium Sorbate and Sodium Benzoate in "Doogh" by HPLC and Comparison with Spectrophotometry. *Int. J. Bio-Inorg. Hybd. Nanomat.* 2013. V. 2. N 3. P. 429-435.
- Khosrokhavar R., Sadeghzadeh N., Amini M., Ghazi-Khansari M., Hajiaghaee R., Ejtemaei M.S.** Simultaneous Determination of Preservatives (Sodium Benzoate and Potassium Sorbate) in Soft Drinks and Herbal Extracts Using High- Performance Liquid Chromatography (HPLC). *J. Medic. Plants.* 2010. V. 9. N 35. P. 80-87.
- Femi Francis Oloye.** Spectroscopic Investigation of the Mixture of Ascorbic Acid and Sodium Benzoate. *Sci. J. Chem.* 2019. V. 7. N 3. P. 62-66. DOI: 10.11648/j.sjc.20190703.12.
- Venu L.N., Austin A.** Study and Quantification of Preservative (E211) In Carbonated Soft Drink Samples. *IOSR J. Appl. Chem.* 2019. V. 12. N 4. P. 17-23. DOI: 10.9790/5736-1204011723.
- Malik M.I., Shaikh H., Mustafa G., Bhangar M.I.** Recent applications of molecularly imprinted polymers in analytical chemistry. *Separat. Purificat. Rev.* 2019. V. 48. P. 179-219. DOI: 10.1080/15422119.2018.1457541.
- Uzun L., Turner A.P.** Molecularly-imprinted polymer sensors: realising their potential. *Biosens Bioelectron.* 2016. V. 76. P. 131-144. DOI: 10.1016/j.bios.2015.07.013.
- Ding X.J., Xie N., Zhao S., Wu Y.C., Li J., Wang Z.** Simultaneous determination of ten preservatives in ten kinds of foods by micellar electrokinetic chromatography. *Food Chem.* 2015. V. 181. P. 207-214. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.060.
- Gören A.C., Bilsel G., Simsek A., Bilsel M., Akçadag F., Topal K., Ozgen H.** HPLC and LC-MS/MS methods for determination of sodium benzoate and potassium sorbate in food and beverages: Performances of local accredited laboratories via proficiency tests in Turkey. *Food Chem.* 2015. V. 175. P. 273-279. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.094.
- Qi P., Hong H., Liang X., Liu D.** Assessment of Benzoic Acid Levels in Milk in China. *Food Control.* 2009. V. 20. P. 414-418. DOI: 10.1016/j.foodcont.2008.07.013.
- Abdulmumeen H.A., Risikat A.N., Sururah A.R.** Food: Its preservatives, additives and applications. *Internat. J. of Biolog. Chem.* 2012. V. 1. P. 36-47. DOI: 10.13140/2.1.1623.5208.
- Pandey R.M., Upadhyay S.K.** Food Additive. Yehia El-Samragy (Ed.). IntechOpen. 2012. 272 p. DOI: 10.5772/1521.
- Kumar H., Jha A., Taneja K.K., Kabra K., Sadiq H.M.** A study on consumer awareness, safety perceptions & practices about food preservatives and flavouring agents used in packed/canned foods from south India. *Nat. J. Commun. Med.* 2013. V. 4. N 3. P. 402-406.
- Inetianbor J.E., Ykubu J.M., Ezeonu S.C.** Effects of food additives and preservatives on man - A review. *Asian J. Sci. and Technol.* 2015. V. 6. N 2. P. 1118-1135.
- Safety Requirements for Food Additives, Flavorings, and Technological Aides: Technical Regulations of the Customs Union TP TC 029/2012. dated 20.07.2012. N 58 (in Russian).
- Ogunleye D.T., Oyeyiola A.O., Onwordi C.T., Falana, T.G., Abolade O.M.** Spectrophotometric and high performance liquid chromatographic determination of sodium benzoate and potassium sorbate in some soft drinks. *Unilag J. Med., Sci. Technol. (UJMST).* 2017. V. 5. N 1. P. 168-178.
- Mahboubifar M., Sobhani Z., Dehghanzadeh G., Javidnia K.** A Comparison between UV Spectrophotometer and High-performance Liquid Chromatography Method for the Analysis of Sodium Benzoate and Potassium Sorbate in Food Products. *Food Analyt. Meth.* 2010. V. 4. N 2. P. 150-154. DOI: 10.1007/s12161-010-9158-0.
- Bahremand N., Eskandari S.** Determination of Potassium Sorbate and Sodium Benzoate in "Doogh" by HPLC and Comparison with Spectrophotometry. *Int. J. Bio-Inorg. Hybd. Nanomat.* 2013. V. 2. N 3. P. 429-435.
- Khosrokhavar R., Sadeghzadeh N., Amini M., Ghazi-Khansari M., Hajiaghaee R., Ejtemaei M.S.** Simultaneous Determination of Preservatives (Sodium Benzoate and Potassium Sorbate) in Soft Drinks and Herbal Extracts Using High- Performance Liquid Chromatography (HPLC). *J. Medic. Plants.* 2010. V. 9. N 35. P. 80-87.
- Femi Francis Oloye.** Spectroscopic Investigation of the Mixture of Ascorbic Acid and Sodium Benzoate. *Sci. J. Chem.* 2019. V. 7. N 3. P. 62-66. DOI: 10.11648/j.sjc.20190703.12.
- Venu L.N., Austin A.** Study and Quantification of Preservative (E211) In Carbonated Soft Drink Samples. *IOSR J. Appl. Chem.* 2019. V. 12. N 4. P. 17-23. DOI: 10.9790/5736-1204011723.
- Malik M.I., Shaikh H., Mustafa G., Bhangar M.I.** Recent applications of molecularly imprinted polymers in analytical chemistry. *Separat. Purificat. Rev.* 2019. V. 48. P. 179-219. DOI: 10.1080/15422119.2018.1457541.
- Uzun L., Turner A.P.** Molecularly-imprinted polymer sensors: realising their potential. *Biosens Bioelectron.* 2016. V. 76. P. 131-144. DOI: 10.1016/j.bios.2015.07.013.

17. **Pohanka M.** Sensors based on molecularly imprinted polymers. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2017. V. 12. P. 8082-8094. DOI: 10.20964/2017.09.67.
18. **Зяблов А.Н., Моничева Т.С., Селеменев В.Ф.** Детектирование аминокислот в препарате «BCAA» пьезокварцевыми сенсорами, модифицированными полимерами с молекулярными отпечатками. *Аналитика и контроль.* 2012. Т. 16. № 4. С. 406-409.
19. **Karaseva N.A., Pluhar B., Beliaeva E.A., Ermolaeva T.N., Mizaikoff B.** Synthesis and application of molecularly imprinted polymers for trypsin piezoelectric sensors. *Sensors Actuators B: Chem.* 2019. V. 280. P. 272-279. DOI: 10.1016/j.snb.2018.10.022.
20. **Фарафонова О.В., Потанина А.Ю., Тарасова Н.В., Ермолаева Т.Н.** Синтез методом фотополимеризации и применение тонких пленок полимеров с молекулярными отпечатками для молекулярного распознавания цефалоспоринов. *Сорбц. и хроматограф. проц.* 2018. Т. 18. № 4. С. 495-504. DOI: 10.17308/sorpchrom.2018.18/557.
21. **Sroysee W., Suticha Chunta S., Amatongchai M., Lieberzeit P.A.** Molecularly imprinted polymers to detect profenofos and carbofuran selectively with QCM sensors. *Phys. Med.* 2019. V. 6. P. 1-7. DOI: 10.1016/j.phmed.2019.100016.
22. **Као Ньят Линь, Дуванова О.В., Зяблов А.Н., Нгуен Ань Тьен.** Применение пьезосенсоров на основе молекулярно-импринтированного полиимида для определения кофеина в чае. *Химия растит. сырья.* 2021. № 2. P. 173-180. DOI: 10.14258/jcpr.2021028239.
23. **Zhao C, Jia G., Lu W., Gong Q.** A piezoelectric magnetic molecularly imprinted surface sensor for the detection of Sudan I. *J. Alloys Comp.* 2017. V. 710. P. 711-716. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.03.316.
24. **Бессонов М.И.** Полиимиды – новый класс термотойких полимеров. Ленинград: Наука. 1983. 328 с.
25. **Хальзова С.А., Кривonosова 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.
26. **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.
27. **Као Ньят Линь, Зяблов А.Н., Дуванова О.В., Селеменев В.Ф.** Сорбция карбоновых кислот молекулярно-импринтированными полимерами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 71-76. DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6071.
28. **Дуванова О.В., Кривonosова 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. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* 2017. Т. 83. № 2. С. 18-22.
29. **Меренкова А.А., Жужукин К.В., Зяблов А.Н., Бельчинская Л.И.** Определение формальдегида в производственных растворах пьезоэлектрическими сенсорами. *Аналитика и контроль.* 2021. Т. 25. № 2. С. 140-145. DOI: 10.15826/analitika.2021.25.2.003.
30. **Дмитриенко С.Г., Ирха В.В., Кузнецова А.Ю., Золотов Ю.А.** Использование полимеров с молекулярными отпечатками в процессах разделения и концентрирования органических соединений. *Журн. аналит. химии.* 2004. Т. 59. № 9. С. 902-912. DOI: 10.1023/B:JAN.0000040694.23348.45.
17. **Pohanka M.** Sensors based on molecularly imprinted polymers. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2017. V. 12. P. 8082-8094. DOI: 10.20964/2017.09.67.
18. **Zyablov A.N., Monicheva T.S., Selemenev V.F.** Detection of aminoacids in preparation «BCAA» piezoquartz sensors, modified molecular imprinting polymers. *Analitika Kontrol.* 2012. V. 16. N 4. P. 406-409 (in Russian).
19. **Karaseva N.A., Pluhar B., Beliaeva E.A., Ermolaeva T.N., Mizaikoff B.** Synthesis and application of molecularly imprinted polymers for trypsin piezoelectric sensors. *Sensors Actuators B: Chem.* 2019. V. 280. P. 272-279. DOI: 10.1016/j.snb.2018.10.022.
20. **Farafonova O.V., Potanina A.U., Tarasova N.V., Ermolaeva T.N.** Synthesis by photopolymerization and the use of thin films of polymers with molecular prints for the molecular recognition of cephalosporins. *Sorbts. Khromatograf. Prots.* 2018. V. 18. N 4. P. 495-504 (in Russian). DOI: 10.17308/sorpchrom.2018.18/557.
21. **Sroysee W., Suticha Chunta S., Amatongchai M., Lieberzeit P.A.** Molecularly imprinted polymers to detect profenofos and carbofuran selectively with QCM sensors. *Phys. Med.* 2019. V. 6. P. 1-7. DOI: 10.1016/j.phmed.2019.100016.
22. **Cao Nhat Linh, Duvanova O.V., Zyablov A.N., Nguyen Anh Tien.** Application of piezosensors based on the molecularly imprinted polyimide for determination of caffeine in tea. *Khim. Rastit. Syr'ya.* 2021. V. 2. P. 173-180 (in Russian). DOI: 10.14258/jcpr.2021028239.
23. **Zhao C, Jia G., Lu W., Gong Q.** A piezoelectric magnetic molecularly imprinted surface sensor for the detection of Sudan I. *J. Alloys Comp.* 2017. V. 710. P. 711-716. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.03.316.
24. **Bessonov M.I.** Polyimides – a new class of heat-resistant polymers. Ленинград: Наука. 1983. 328 p. (in Russian).
25. **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. *Analitika Kontrol.* 2017. V. 21. N 2. P. 85-92 (in Russian). DOI: 10.15826/analitika.2017.21.2.006.
26. **Zyablov A.N., Khalzova S.A., Selemenev V.F.** Sorption of red food coloring polymers with molecular imprints. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2017. V. 60. N 7. P. 42-47 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.2017607.5595.
27. **Cao Nhat Linh, Zyablov A.N., Duvanova O.V., Selemenev V.F.** Sorption of carboxylic acids by molecularly imprinted polymers. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2020. V. 63. N 2. P. 71-76 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6071.
28. **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. *Zavod. Lab. Diagnost. Mater.* 2017. V. 83. N 2. P. 18-22 (in Russian).
29. **Merenkova A.A., Zhuzhukin K.V., Zyablov A.N., Belchinskaja L.I.** Determination of formaldehyde in production solutions using the piezoelectric sensors. *Analitika Kontrol.* 2021. V. 25, N 2. P. 140-145 (in Russian). DOI: 10.15826/analitika.2021.25.2.003.
30. **Dmitrienko S.G., Irkha V.V., Kuznetsova A.Yu., Zolotov Yu.A.** Use of molecular imprinted polymers for the separation and preconcentration of organic compounds. *Zhurn. Aanalyt. Khim.* 2004. V. 59. N 9. P. 902-912 (in Russian). DOI: 10.1023/B:JAN.0000040694.23348.45.

Поступила в редакцию (Received) 01.02.2022
 Принята к опубликованию (Accepted) 13.07.2022