

УДК 543.054:547.466

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЛЕИНОВОЙ И ПАЛЬМИТИНОВОЙ КИСЛОТ В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ¹

© О. В. Дуванова², И. А. Кривоносова², А. Н. Зяблов²,
А. В. Фалалеев², В. Ф. Селеменев², С. А. Соколова³

Статья поступила 25 мая 2016 г.

Апробированы пьезоэлектрические сенсоры на основе полимеров с молекулярными отпечатками олеиновой (ПМО-Oleic) и пальмитиновой (ПМО-Palmitic) кислот при анализе растительных масел. При создании ПМО-сенсоров электроды модифицировали полимерами на основе полиимида ПМ (диангидрид 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты и 4,4'-диаминодифенилоксид). Проведено сравнение значений импринтинг-фактора и коэффициентов селективности полученных полимеров с молекулярными отпечатками жирных кислот. В качестве метода сравнения использовали хромато-масс-спектрометрию. Разность результатов определения кислот пьезоэлектрическим сенсором и методом хромато-масс-спектрометрии не превышает 10 %. Установлено, что сенсоры, модифицированные полимерами с молекулярными отпечатками, обладают избирательностью к той кислоте, которая являлась шаблоном при их синтезе.

Ключевые слова: полимеры с молекулярными отпечатками; олеиновая кислота; пальмитиновая кислота; полиимид ПМ; пьезоэлектрический сенсор; растительные масла.

Триглицериды (триацилглицеролы) играют важную химическую и биологическую роль — это исходное сырье для получения различных классов поверхностно-активных веществ и эмульгаторов [1 – 3], а также основной компонент растительных масел, выполняющий роль главного источника энергии клеток. Содержание жирных кислот, в частности олеиновой и пальмитиновой, входящих в состав триглицеридов, является основным показателем натуральности масло-жировых продуктов. Установление жирнокислотного состава проводят различными методами [4 – 9], требующими достаточно сложной пробоподготовки, дорогостоящего оборудования, отличающимися длительностью проведения анализа. Это ограничивает их применение в случаях, если возникает необходимость on-line контроля содержания жирнокислотного состава или экспресс-определения отдельных жирных кислот непосредственно в процессе переработки масел. В этой связи перспективны селективные пьезоэлектрические сенсоры, имеющие низкую стоимость, небольшие размеры и возможность адаптировать их к различным технологическим решениям. Для создания селективных сенсоров поверхности их электродов

модифицируют различными сорбентами [10 – 11]. Одними из таких материалов являются полимеры с молекулярными отпечатками (ПМО). Это новое поколение сорбентов, важное свойство которых — способность селективно связывать те органические молекулы, в присутствии которых был осуществлен их синтез, и удерживать их в полимере за счет взаимодействий различной природы [12 – 14].

Целью работы являлась апробация пьезоэлектрических сенсоров на основе полимеров с молекулярными отпечатками для определения олеиновой (Oleic) и пальмитиновой (Palmitic) кислот в растительных маслах.

Определение жирных кислот в жидкостях проводили с помощью установки, представленной на рис. 1, включающей пьезоэлектрический сенсор, систему сбора и передачи аналитических сигналов в персональный компьютер (частотомер АКТАКОМ-8322, программное обеспечение «АКТАКОМ FCounter»).

Для создания селективных сенсоров использовали пьезоэлектрические резонаторы АТ-среза с серебряными электродами диаметром 5 мм и толщиной 0,3 мм (производство ОАО «Пьезокварц», г. Москва) с номинальной резонансной частотой 4,607 МГц. Поверхность электродов модифицировали полимерами с молекулярными отпечатками. Исходным материалом при синтезе ПМО был продукт АД-9103 ТУ-6-19-283-85 (предполимеризационная смесь) производства ОАО МИПП НПО «Пластик» (г. Москва), представляющий собой смесь исходных мономеров 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты и 4,4'-диами-

¹ Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 гг.» (Соглашение № 14.577.21.0182, уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57715X0182).

² Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия; e-mail: duvanovaov@mail.ru

³ Воронежский государственный аграрный университет имени Петра I, г. Воронеж, Россия.

нодифенилоксида, полимеризация которых приводит к образованию полиимида (ПМ) [15, 16].

При получении полимеров с молекулярными отпечатками в предполимеризационную смесь вводили шаблон (темплат) — олеиновую или пальмитиновую кислоту, проводили полимеризацию при 453 К непосредственно на поверхности электрода сенсора, а затем образцы охлаждали до комнатной температуры и помещали на 24 ч в водно-спиртовую смесь для удаления шаблона, которое проходит без разрушения полимера и без деформации сенсора. Одновременно с ПМО в идентичных условиях, но в отсутствие молекулы-шаблона, получали полимер сравнения (ПС) [17 – 19]. Более подробно методика получения сенсоров с селективным покрытием на основе полимеров с молекулярными отпечатками представлена в патентах [20, 21].

В работе использовали следующие сенсоры: модифицированный чистым полимером (ПС) без отпечатков жирных кислот, модифицированный полимером с молекулярным отпечатком олеиновой кислоты (ПМО-Oleic), модифицированный полимером с молекулярным отпечатком пальмитиновой кислоты (ПМО-Palmitic). Апробацию полученных сенсоров проводили на рафинированных маслах: подсолнечном («Слобода»), кукурузном («Светлица»), оливковом («Maestro de Oliva»), льняном, рапсовом.

Определение содержания жирных кислот по градуировочному графику. Для этого готовили модельные растворы олеиновой и пальмитиновой кислот в бутаноле по точной навеске из реактивов квалификации ч (ЗАО «Воронежреактив») в диапазоне содержаний: для олеиновой кислоты — 0,16 – 0,86 г/дм³; для пальмитиновой — 0,14 – 0,34 г/дм³. В связи с высокой вязкостью масел их предварительно разбавляли в наиболее подходящем растворителе — бутаноле — в соотношении 1:10 [22].

Методика измерения заключается в следующем: сенсор закрепляли в горизонтальном положении, включали установку и регистрировали показания сенсора без нагрузки (на воздухе) по частотомеру. Затем на поверхность электрода микрошприцем ($V = 1$ мкл) наносили «холостую пробу» (бутанол) и регистрировали сигнал (f_1), после чего ее удаляли полоской фильтровальной бумаги. Через 5 – 10 с, когда показания сенсора соответствовали исходному значению «на воздухе», наносили такой же объем анализируемого раствора и регистрировали сигнал (f_2). Измерение сигнала проводили через каждую секунду, регистрируя 10 значений. Относительный сдвиг частоты Δf вычисляли по уравнению

$$\Delta f = f_1 - f_2,$$

где f_1, f_2 — частоты колебаний сенсора в «холостой» пробе и анализируемом растворе соответственно, кГц [10].

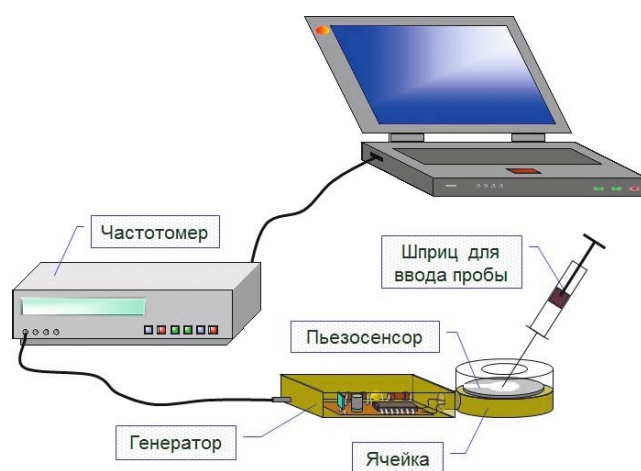


Рис. 1. Установка для определения веществ в растворах пьезоэлектрическим сенсором

Измерения проводили, переходя от разбавленных растворов к более концентрированным. После эксперимента сенсор промывали водно-бутанольной смесью и сушили в сушильном шкафу при 50 °С в течение 1 ч, для возвращения частоты колебания пьезоэлектрического сенсора к исходным значениям.

При оценке свойств ПМО сравнивали значения импринтинг-фактора (IF) $IF = \Delta f_{\text{ПМО}} / \Delta f_{\text{ПС}}$, где $\Delta f_{\text{ПМО}}$, $\Delta f_{\text{ПС}}$ — сигналы пьезосенсора с молекулярным отпечатком и пьезосенсора с полимером сравнения соответственно по отношению к кислоте (Гц), а также коэффициенты селективности (k) сенсора определяемой кислоты к родственным соединениям $k = S_{\text{жк}} / S_{\text{опр.жк}}$, где $S_{\text{жк}}$, $S_{\text{опр.жк}}$ — коэффициенты чувствительности ПМО к посторонней и определяемой жирным кислотам соответственно. Чувствительность сенсоров рассчитывали как отношение разностной частоты колебаний сенсора к концентрации определяемого компонента [23].

Правильность определения жирных кислот в маслах пьезоэлектрическими сенсорами проверяли с использованием хромато-масс-спектрометрического комплекса Agilent Technological 7890B GC Systems с масс-селективным детектором Agilent Technological 5977A MSD (по стандартной методике ГОСТ 30418–96), сравнивая результаты, полученные двумя методами.

Как было показано ранее [24, 25], при синтезе полимера с молекулярным отпечатком возникают полосы, комплементарные молекуле-шаблону по размеру, форме и расположению функциональных групп, по-

Таблица 1. Импринтинг-факторы и коэффициенты селективности для сенсоров на основе ПМО

Сенсоры	Олеиновая кислота		Пальмитиновая кислота	
	IF	k	IF	k
ПМО-Oleic	6,7	1	0,1	0,19
ПМО-Palmitic	0,03	0,23	7,8	1

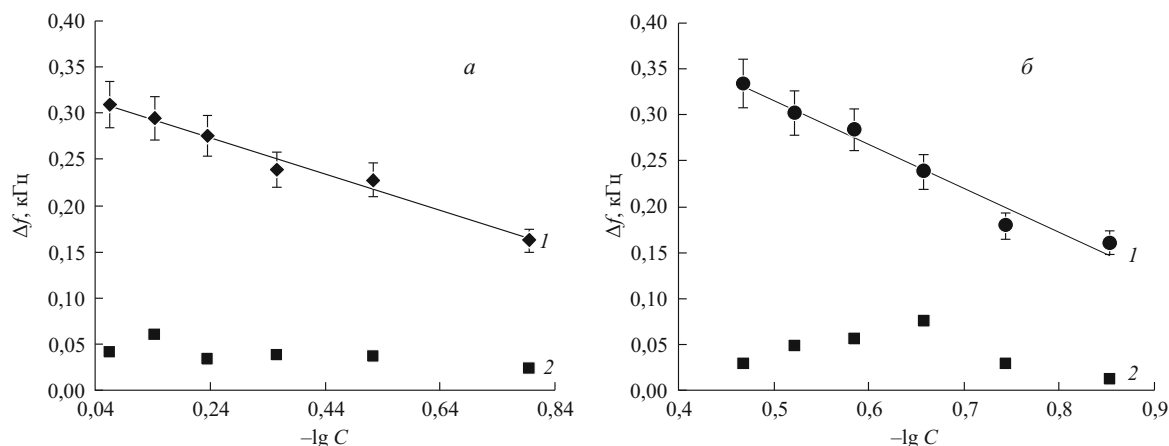


Рис. 2. Зависимость разностной частоты пьезоэлектрического сенсора от логарифма концентрации: *а* — олеиновой кислоты в спиртовом растворе; *б* — пальмитиновой кислоты в спиртовом растворе (1 — ПМО; 2 — ПС)

этому важным ожидаемым свойством ПМО является способность распознавать целевые молекулы в растворе. Об этом свидетельствуют высокие значения IF и k , наблюдаемые для ПМО-сенсоров при определении той жирной кислоты, которую использовали в качестве шаблона при их синтезе (табл. 1).

Для ПМО-сенсоров градуировочные зависимости описываются уравнениями: $\Delta f_{\text{ПМО}} = -0,198c + 0,321$, $R^2 = 0,98$ (ПМО-Oleic) и $\Delta f_{\text{ПМО}} = -0,476c + 0,553$, $R^2 = 0,97$ (ПМО-Palmitic) (рис. 2).

Была сделана попытка построить аналогичные зависимости для сенсора, модифицированного полимером сравнения. Как видно из рис. 2, использовать такой сенсор для определения олеиновой и пальмитиновой кислот не представляется возможным.

Метрологические характеристики определения олеиновой и пальмитиновой кислот пьезоэлектрическими сенсорами, модифицированными ПМО, представлены в табл. 2. Правильность определения в мо-

дельных растворах подтверждена методом «введено — найдено» (табл. 3).

Для установления триглицеридного состава как показателя натуральности масла модифицированные пьезоэлектрические сенсоры были апробированы при анализе различных видов растительных масел (табл. 4).

Установлено, что разность результатов определения кислот как в модельных растворах, так и в растительных маслах пьезоэлектрическим сенсором и методом хромато-масс-спектрометрии не превышает 10 %.

На основании результатов сравнения экспериментальных данных, полученных хромато-масс-спектрометрическим и сенсорным методами, установлена возможность применения пьезоэлектрических сенсоров, модифицированных ПМО олеиновой и пальмитиновой кислот, для определения соответствующих кислот-шаблонов. Предлагаемые пьезоэлектрические сенсоры, модифицированные полимерами на основе

Таблица 2. Метрологические характеристики определения жирных кислот в модельных растворах модифицированными пьезоэлектрическими сенсорами

Сенсор	Определяемое вещество	Диапазон определяемых содержаний, г/дм ³	$C_{\min}$, г/дм ³	S_r , %
ПМО-Oleic	Олеиновая кислота	0,16 – 0,86	0,14	5,8
ПМО-Palmitic	Пальмитиновая кислота	0,14 – 0,34	0,12	3,2

Таблица 3. Результаты определения олеиновой и пальмитиновой кислот в модельных растворах методом «введено — найдено»

Аналит	Сенсор с ПМО _{ПМ} -Oleic			Сенсор с ПМО _{ПМ} -Palmitic		
	C , г/дм ³		S_r , %	C , г/дм ³		S_r , %
	Введено	Найдено		Введено	Найдено	
Олеиновая кислота	0,86	0,81 ± 0,04	4,9	0,86	—	—
	0,72	0,77 ± 0,05	6,5	0,72	—	—
	0,58	0,56 ± 0,02	3,6	0,58	—	—
Пальмитиновая кислота	0,34	—	—	0,34	0,33 ± 0,02	6,1
	0,30	—	—	0,30	0,32 ± 0,02	6,3
	0,26	—	—	0,26	0,24 ± 0,01	4,2

Таблица 4. Результаты определения олеиновой и пальмитиновой кислот в растительных маслах пьезоэлектрическими сенсорами и методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС)

Объект анализа	Олеиновая кислота, г/дм ³		S_r , %	Пальмитиновая кислота, г/дм ³		S_r , %
	ХМС	ПМО-сенсор		ХМС	ПМО-сенсор	
Масло подсолнечное «Слобода»	0,28	0,26 ± 0,02	6,5	0,10	0,09 ± 0,01	7,8
Масло кукурузное «Светлица»	0,31	0,33 ± 0,03	9,1	0,12	0,11 ± 0,01	9,6
Масло оливковое «Maestro de Oliva»	0,60	0,57 ± 0,02	3,5	0,14	0,14 ± 0,01	7,1
Масло льняное	0,22	0,23 ± 0,01	4,3	0,07	0,06 ± 0,02	3,3
Масло рапсовое	0,46	0,44 ± 0,02	4,5	0,07	0,07 ± 0,03	4,3

полиимида ПМ с молекулярными отпечатками олеиновой и пальмитиновой кислот, могут быть использованы как малогабаритные аналитические устройства для экспрессного определения данных жирных кислот в составе триглицеридов растительных масел.

ЛИТЕРАТУРА

- De S., Malik S., Ghosh A., et al. A review on natural surfactants / RSC Adv. 2015. Vol. 5. P. 65757 – 65767.
- Avelino C., Iborra S., Velly A. Chemical Routes for the Transformation of Biomass into Chemicals / Chem. Rev. 2007. Vol. 107. P. 2411 – 2502.
- Singh D., Bhoi R., Ganesh A., Mahajani S. Synthesis of Biodiesel from Vegetable Oil Using Supported Metal Oxide Catalysts / Energy Fuels. 2014. Vol. 28. N 4. P. 2743 – 2753.
- Прудников С. М., Наумов Н. Н., Украинцева И. И., Жирова Е. В. Разработка способа определения содержания олеиновой кислоты в триацилглицеринах масла семян подсолнечника / Изв. вузов. Пищевая технология. 2006. № 2 – 3. С. 96 – 97.
- Селичев В. Е. Современное оборудование и методы анализа для контроля качества / Масла и жиры. 2009. № 5. С. 8 – 9.
- Першакова Т. В., Наумов Н. Н. Экспресс-метод товаровой оценки массовой доли олеиновой кислоты в масле из семян подсолнечника / Научн. журн. КубГАУ. 2011. № 5(69). С. 238 – 247.
- ГОСТ 30418–96. Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. — Минск, 1996. — 7 с.
- ГОСТ Р 51483–99. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме. — М., 2000. — 8 с.
- ГОСТ 30623–98. Масла растительные и маргариновая продукция. Метод обнаружения фальсификации. — М., 2010. — 16 с.
- Калач А. В., Зяблов А. Н., Селеменов В. Ф. Сенсоры в анализе газов и жидкостей. — Воронеж: ЛИО, 2011. — 240 с.
- Зяблов А. Н., Калач А. В., Жирова Ю. А. и др. Определение глицерина в водных растворах пьезосенсором модифицированным полимером с молекулярным отпечатком / Журн. аналит. химии. 2010. Т. 65. № 1. С. 93 – 95.
- Дмитриенко С. Г., Ирха В. В., Дуйсебаева Т. Б. и др. Синтез и исследование сорбционных свойств полимеров с отпечатками 4-гидроксibenзойной кислоты / Журн. аналит. химии. 2006. Т. 61. № 1. С. 18 – 23.
- Гендриков О. Д., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. Молекулярно-импринтированные полимеры и их применение в биохимическом анализе / Успехи биол. химии. 2006. Т. 46. С. 149 – 192.
- Лисичкин Г. В., Крутяков Ю. А. Материалы с молекулярными отпечатками: синтез, свойства, применение / Успехи химии. 2006. Т. 75. № 10. С. 998 – 1016.
- Зяблов А. Н., Говорухин С. И., Дуванова О. В. и др. Проточно-инжекционное определение валина пьезокварцевым сенсором, модифицированным полимером с молекулярными отпечатками / Аналитика и контроль. 2014. Т. 18. № 4. С. 438 – 441.
- Семилетова Е. С., Зяблов А. Н., Селеменов В. Ф. и др. Термогравиметрический анализ полимеров / Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. Вып. 5. С. 734 – 738.
- Дуванова О. В., Володина Л. В., Зяблов А. Н. и др. Анализ морфологии поверхности полимеров с молекулярными отпечатками олеи-

новой и пальмитиновой кислот / Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. Вып. 6. С. 884 – 890.

- Володина Л. В., Дуванова О. В., Зяблов А. Н. и др. Анализ структуры и состава полимеров с молекулярными отпечатками олеиновой и пальмитиновой кислот / Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. Вып. 1. С. 111 – 120.
- Дуванова О. В., Дашина А. И., Зяблов А. Н. и др. Оценка свойств молекулярно-импринтированных полимеров для определения жирных кислот в жидкостях пьезоэлектрическими сенсорами / Вестн. Воронеж. гос. аграрного ун-та. 2014. Вып. 3(42). С. 147 – 157.
- Пат. 137946 Российская Федерация, МПК H01L41/08. Пьезоэлектрический сенсор на основе молекулярно-импринтированного полимера для определения олеиновой кислоты / Зяблов А. Н., Дуванова О. В. и др.: заявитель и патентообладатель Воронежский госуниверситет. — № 2013144500/28, заявл. 03.10.2013; опубл. 27.02.2014, Бюл. № 6.
- Пат. 138636 Российская Федерация, МПК G 01 N 27/406, G 01 N 27/12. Пьезоэлектрический сенсор на основе молекулярно-импринтированного полимера для определения пальмитиновой кислоты / Зяблов А. Н., Дуванова О. В. и др.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т. — № 2013144501/28, заявл. 03.10.2013; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
- Свойства органических соединений: справ. / Под ред. А. А. Потехина. — Л.: Химия, 1984. — 520 с.
- Основы аналитической химии. В 2 т. / Под ред. Ю. А. Золотова. Т. 1. — М.: Академия, 2012. — 384 с.
- Степычева Н. В., Фудько А. А. Кулажированные растительные масла с оптимизированным жирно-кислотным составом / Химия растительного сырья. 2011. № 2. С. 27 – 33.
- Зяблов А. Н., Моничева Т. С., Селеменов В. Ф. Детектирование аминокислот в препарате «ВСАА» пьезокварцевыми сенсорами, модифицированными полимерами с молекулярными отпечатками / Аналитика и контроль. 2012. Т. 16. № 4. С. 406 – 409.

REFERENCES

- De S., Malik S., Ghosh A., et al. A review on natural surfactants / RSC Adv. 2015. Vol. 5. P. 65757 – 65767.
- Avelino C., Iborra S., Velly A. Chemical Routes for the Transformation of Biomass into Chemicals / Chem. Rev. 2007. Vol. 107. P. 2411 – 2502.
- Singh D., Bhoi R., Ganesh A., Mahajani S. Synthesis of Biodiesel from Vegetable Oil Using Supported Metal Oxide Catalysts / Energy Fuels. 2014. Vol. 28. N 4. P. 2743 – 2753.
- Prudnikov S. M., Naumov N. N., Ukraintseva I. I., Zhironova E. V. Razrabotka sposoba opredeleniya zoderzhaniya oleinovoi kisloty v triatsilglitserinakh masla semyan podsolnechnika [Development of a method for determining the content of oleic acid in triacylglycerols of sunflower seed oil] / Izv. Vuzov. Pishch. Tekhnol. 2006. N 2 – 3. P. 96 – 97 [in Russian].
- Selichev V. E. Sovremennoe oborudovanie i metody analiza dlya kontrolya kachestva [Modern equipment and methods of analysis for quality control] / Masla Zhiry. 2009. N 5. P. 8 – 9 [in Russian].
- Pershakova T. V., Naumov N. N. Ekspress-metod tovarovednoi otsenki massovoi doli oleinovoi kisloty v masle iz semyan podsolnechnika [Express method of evaluating of oleic acid mass part in sunflower-seed oil] / Nauchn. Zh. KubGAU. 2011. N 5(69). P. 238 – 247 [in Russian].
- State Standard GOST 30418–96. Masla rastitel'nye. Metod opredeleniya zhirkislotnogo sostava [Vegetable oils. Method for the determination of fatty acid composition]. — Minsk, 1996. — 7 p. [in Russian].

8. State Standard GOST R 51483–99. Masla rastitel'nye i zhiry zhivotnye. Opredelenie metodom gazovoi khromatografii massovoi doli metilovykh éfirov individual'nykh zhirnykh kislot k ikh summe [Vegetable oils and animal fats. Determination by gas chromatography of mass fraction methyl esters of individual fatty acids to their sum]. — Moscow, 2000. — 8 p. [in Russian].
9. State Standard GOST 30623–98. Masla rastitel'nye i margarinovaya produktsiya. Metod obnaruzheniya fal'sifikatsii [Vegetable oils and margarine products. Method of detection of falsification]. — Moscow, 2010. — 16 p. [in Russian].
10. Kalach A. V., Zhablov A. N., Selemenov V. F. Sensory v analize gazov i zhidkostei [Sensors in the analysis of gases and liquids]. — Voronezh: LIO, 2011. — 240 p. [in Russian].
11. Zhablov A. N., Kalach A. V., Zhibrova Yu. A., et al. Determination of glycine in aqueous solutions using a molecularly imprinted polymer-modified piezosensor / J. Anal. Chem. 2010. Vol. 65. N 1. P. 91–93.
12. Dmitrienko S. G., Irkha V. V., Duisebaeva T. B., et al. Synthesis and study of the sorption properties of 4-hydroxybenzoic acid-imprinted polymers / J. Anal. Chem. 2006. Vol. 61. N 1. P. 14–19 [in Russian].
13. Gendrikson O. D., Zherdev A. V., Dzantiev B. B. Molekulyarno-imprintirovannyye polimery i ikh primeneniye v biokhimiicheskom analize [Molecularly imprinted polymers and their use in biochemical analysis] / Usp. Biol. Khimii. 2006. Vol. 46. P. 149–192 [in Russian].
14. Lisichkin G. V., Krutyakov Yu. A. Molecularly imprinted materials: synthesis, properties, applications / Rus. Chem. Rev. 2006. Vol. 75. N 10. P. 998–1016.
15. Zhablov A. N., Govorukhin S. I., Duvanov O. V., et al. Protochno-inzhetsionnoye opredeleniye valina p'ezokvartsevyim sensorom, modifitsirovannym polimerom s molekulyarnymi otpechatkami [Flow-injection determination of valine with piezoelectric sensors, modified by molecularly imprinted polymers] / Analit. Kontrol'. 2014. Vol. 18. N 4. P. 438–441 [in Russian].
16. Semiletova E. S., Zhablov A. N., Selemenov V. F., et al. Termogravimetricheskii analiz polimerov [Thermogravimetric analysis of the polymers] / Sorbts. Khromatogr. Prots. 2012. Vol. 12. Issue 5. P. 734–738 [in Russian].
17. Duvanov O. V., Volodina L. V., Zhablov A. N., et al. Analiz morfolologii poverkhnosti polimerov s molekulyarnymi otpechatkami oleinoy i pal'mitinovoy kislot [Analysis of the morphology of the surface of polymers with molecular imprints of oleic and palmitic acids] / Sorbts. Khromatogr. Prots. 2013. Vol. 13. Issue 6. P. 884–890 [in Russian].
18. Volodina L. V., Duvanov O. V., Zhablov A. N., et al. Analiz struktury i sostava polimerov s molekulyarnymi otpechatkami oleinoy i pal'mitinovoy kislot [Analysis of the structure and composition of polymers with a molecular imprints of oleic and palmitic acids] / Sorbts. Khromatogr. Prots. 2014. Vol. 14. Issue 1. P. 111–120 [in Russian].
19. Duvanov O. V., Dashina A. I., Zhablov A. N., et al. Otsenka svoystv molekulyarno-imprintirovannykh polimerov dlya opredeleniya zhirnykh kislot v zhidkostyakh p'ezoelektricheskimi sensorami [Evaluation of the properties of molecularly imprinted polymers for determination of the fatty acid in fluids with piezoelectric sensors] / Vestn. Voronezh. Gos. Agrar. Univ. 2014. Issue 3(42). P. 147–157 [in Russian].
20. RF Pat. 137946, MPK H01L41/08. P'ezoelektricheskii sensor na osnove molekulyarno-imprintirovannogo polimera dlya opredeleniya oleinoy kisloty [Piezoelectric sensor based on molecularly imprinted polymers for the determination of oleic acid] / Zhablov A. N., Duvanov O. V., et al.; applicant and owner Voronezh State Univ. — N 2013144500/28, appl. 03.10.2013; publ. 27.02.2014, Byul. Otkryt. Izobret. N 6 [in Russian].
21. RF Pat. 138636, MPK G 01 N 27/406, G 01 N 27/12. P'ezoelektricheskii sensor na osnove molekulyarno-imprintirovannogo polimera dlya opredeleniya pal'mitinovoy kisloty [Piezoelectric sensor based on molecularly imprinted polymers for the determination of palmitic acid] / Zhablov A. N., Duvanov O. V., et al.; applicant and owner Voronezh State Univ. — N 2013144501/28, appl. 03.10.2013; publ. 20.03.2014, Byul. Otkryt. Izobret. N 8.
22. Potekhin A. A. (ed.). Svoystva organicheskikh soedinenii: sprav. [Properties of organic compounds: a guide]. — Leningrad: Khimiya, 1984. — 520 p. [in Russian].
23. Zolotov Yu. A. (ed.). Osnovy analiticheskoi khimii [Fundamentals of Analytical Chemistry]. In 2 vols. Vol. 1. — Moscow: Akademiya, 2012. — 384 p. [in Russian].
24. Stepycheva N. V., Fud'ko A. A. Kupazhirovannyye rastitel'nye masla s optimizirovannym zhirno-kislotnym sostavom [Blended oils with optimized fatty acid composition] / Khimiya Rastit. Syr'ya. 2011. N 2. P. 27–33 [in Russian].
25. Zhablov A. N., Monicheva T. S., Selemenov V. F. Detektirovaniye aminokislot v preparate «VSAA» p'ezokvartsevymi sensorami, modifitsirovannymi polimerami s molekulyarnymi otpechatkami [Detection of amino acids in preparation «VSAA» piezoquartz sensors, modified molecularly imprinting polymers] / Analit. Kontrol'. 2012. Vol. 16. N 4. P. 406–409 [in Russian].