

## **Твердофазно-спектрофотометрическое иодометрическое определение иодата в пищевой соли с использованием полиметакрилатной матрицы**

**Д.А. Федан<sup>1</sup>, \*Н.В. Саранчина<sup>2</sup>, Н.А. Гавриленко<sup>1</sup>, М.А. Проскурнин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина 36

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Российская Федерация, 119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3

\*Адрес для переписки: Саранчина Надежда Васильевна, E-Mail: saranchina@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 28 февраля 2018 г., после исправления – 10 марта 2018 г.

Предложена иодометрическая твердофазно-спектрофотометрическая методика количественного определения иодата с использованием полиметакрилатной матрицы. Методика основана на реакции иодата с избытком иодида в кислой среде (pH = 1-2) с выделением свободного иода в эквивалентных определяемому веществу количествах, экстракции образовавшегося иода полиметакрилатной матрицей и измерении светопоглощения матрицы при 365 нм. Разработанная методика позволяет проводить определение иодата в диапазоне концентраций 0.10-3.60 мг/л с пределом обнаружения, рассчитанным по 3s-критерию, 0.03 мг/л, при этом время контакта полиметакрилатной матрицы с анализируемым раствором составляет 5 минут. Описано влияние мешающих ионов на определение иодата. Методика использована для определения иодата в образцах поваренной соли. Проведено сравнение результатов, полученных предлагаемой методикой, с результатами определения иода методом титриметрии в соответствии с ГОСТ 51575. Преимуществом разработанной твердофазно-спектрофотометрической методики иодата по сравнению с титриметрическим методом является повышение чувствительности, простота, экспрессность определения и отсутствие потерь иода при анализе образцов поваренной соли. Показана возможность использования полиметакрилатной матрицы в качестве готовой аналитической формы для экспрессного визуального-тестового определения иодата в поваренной соли.

**Ключевые слова:** иодат, иодометрия, полиметакрилатная матрица, твердофазная спектрофотометрия, визуально-тестовое определение.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2018, vol. 22, no. 1, pp. 69-74

DOI: 10.15826/analitika.2018.22.1.009

## **Solid-phase spectrophotometric iodometric determination of iodate in food salt using a polymethacrylate matrix**

**D.A. Fedan<sup>1</sup>, \*N.V. Saranchina<sup>2</sup>, N.A. Gavrilenko<sup>1</sup>, M.A. Proskurnin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, pr. Lenina, 36, 634050, Tomsk, Russian Federation

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, pr. Lenina, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation

<sup>3</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, GSP-1 Moscow, 119991, Russian Federation

\*Corresponding author: Nadezhda V. Saranchina, E-mail: saranchina@mail.tsu.ru

Submitted 28 February 2018, received in revised form – 10 March 2018.

A sensitive solid-phase spectrophotometric method for the quantitative determination of iodate in iodized salt samples using a polymethacrylate matrix is proposed. The procedure is based on the reaction of iodate with excess iodide in the acidic medium (pH 1-2) with the release of free iodine in the amounts equivalent to the iodate to be determined, the extraction of the iodine formed with a polymethacrylate matrix, and the absorbance measurement of the matrix at 365 nm. The developed procedure ensures the determination

of 0.2–3.6 mg/L of iodate with limits of detection of 0.03. The effect of interfering ions, that might be present in the table salt samples, on the determination of iodate is also investigated. It is shown that Ca(II), Mg(II), K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> do not interfere with the determination of iodate. However, Fe(III) causes serious interference, and the addition of fluorides is required to mask iron up to 20-fold. The proposed method has been successfully applied for the determination of iodate in salt samples. The iodate contents thus determined in the iodized salt samples by the solid-phase spectrophotometric method were compared with the total iodine determined in the salt samples by iodometric titration according to GOST 51575. The solid-phase spectrophotometric method for iodate determination in salt samples has advantages over the iodometric titration, for example the increased sensitivity, simplicity and speed of the analysis. The applicability of the polymethacrylate matrix as the final analytical form for the rapid visual iodate test is shown.

**Keywords:** iodate, iodometry, polymethacrylate matrix, solid-phase spectrophotometry, visual test determination.

## Введение

Одним из эссенциальных микроэлементов является иод, поступающий в организм человека преимущественно с пищевыми продуктами и водой. Для профилактики иододифицитных состояний у населения во многих странах в пищевые продукты, такие как хлеб, молоко, кондитерские изделия, сыр, мясная продукция, добавляют иодиды или иодаты. Одним из наиболее популярных иодируемых продуктов во всем мире является поваренная соль, как *наиболее* надежное и эффективное средство ликвидации иододифицитных состояний [1, 2].

В России в качестве иодирующей добавки применяют иодид или иодат калия [3]. Однако иодат калия зарекомендовал себя, как наиболее перспективная иодирующая добавка, вследствие более низкой реакционной способности, а также более высокой стабильности при повышении влажности и температуры [4].

Массовая доля иода в пищевой соли всех марок строго регламентирована на уровне (0.040 ± 0.015) мг/г [5], поэтому необходимо обязательно контролировать содержание иодирующих добавок. В связи с этим актуальной задачей на сегодняшний день является разработка простого, дешевого и экспрессного метода контроля количества иодата в пищевой соли [6, 7].

На территории РФ для определения массовой доли иода в соли используется метод, который основан на титровании иода, выделившегося при взаимодействии иодата калия и иодида калия в кислой среде, раствором тиосульфата натрия в присутствии индикатора (крахмала) [8]. Однако в последнее время большое внимание уделяется экспрессным твердофазным методам, позволяющим быстро и с высокой точностью определять содержание аналитов в исследуемых объектах [2, 9]. В работе [9] представлена мембрана на основе поливинилпирролидона в пластифицированной триацетатцеллюлозе, способная количественно сорбировать иод из раствора, с возможностью последующего спектрофотометрического определения его непосредственно в твердой фазе.

Настоящая работа посвящена изучению возможности экспрессного иодометрического твердо-

дофазно-спектрофотометрического определения иодата в пищевой соли с использованием полиметакрилатной матрицы в качестве твердофазного экстрагента, способного к извлечению иода из анализируемого раствора. Ранее показано [10, 11], что полиметакрилатная матрица обладает хорошими оптическими свойствами, что позволяет без труда регистрировать аналитический сигнал при помощи обычного спектрофотометра, в работе [12] матрица использована в качестве твердофазного экстрагента иода, выделяющегося в результате реакции определения нитрита и селена(IV) с иодидом в кислой среде.

## Экспериментальная часть

Полиметакрилатную матрицу в виде прозрачной пластины толщиной 0.50 ± 0.02 мм получали радикальной блочной полимеризацией метакриловых мономеров с добавлением полиэтиленгликоля в качестве пластификатора по методике [13]. Из полученного образца вырезали пластины размером 6.0x8.0 мм массой около 0.05 г.

Исходный 1000 мг/л раствор иодата готовили растворением навески препарата KIO<sub>3</sub> в воде в соответствии ГОСТ 4212-76 [14]. Рабочие растворы иодата получали в день эксперимента разбавлением исходного раствора бидистиллированной водой. Использовали свежеприготовленный 10 % мас. раствор иодида калия, который готовили растворением навески препарата KI в дистиллированной воде. Необходимое значение pH создавали растворами HCl и контролировали стеклянным электродом на иономере И-160. Все измерения проводили при температуре 22 ± 3 °С. Реактивы, используемые в работе, имели квалификацию «х.ч.» или «ч.д.а.» и применялись без дополнительной очистки.

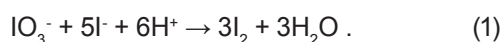
Взаимодействие иодата с иодидом изучали в статических условиях. Для этого полиметакрилатную матрицу помещали в 25 мл раствора иодата с различной концентрацией и заданным значением pH, содержащего 10-500 мкл раствора иодида калия. Затем растворы перемешивали в течение 5 минут на универсальном вибромеханическом смесителе WU-4 со скоростью перемешивания 150 ± 10 оборот/мин и регистрировали спектры поглощения или измеряли оптическую плотность (A) в мак-

симуле полосы поглощения иода в полиметакрилатной матрице.

Спектры поглощения и оптические плотности полиметакрилатной матрицы измеряли на спектрофотометре Shimadzu UV-1800. Для этого образцы полиметакрилатных матриц помещали в ячейку, изготовленную методом трехмерной печати. Оптические характеристики полиметакрилатной матрицы после контакта с раствором иодата измеряли относительно исходной полиметакрилатной матрицы.

## Результаты и их обсуждение

В основе определения иодат-иона лежит реакция с иодидом (1) в кислой среде:



В результате происходит выделение свободного иода в эквивалентных иодату количествах с последующим образованием трийодидного комплекса, который экстрагируется из раствора полиметакрилатной матрицей. Извлечение иода сопровождается изменением окраски матрицы от бледно-желтой до желто-коричневой. Окраска пластин сохраняется продолжительное время. В спектре поглощения иода в полиметакрилатной матрице наблюдается две полосы поглощения в области 365 и 290 нм, соответствующие поглощению трийодидного комплекса [15]. На рис. 1 приведены спектры поглощения иода в полиметакрилатной матрице после контакта матрицы с раствором иодата различной концентрации в присутствии иодида.

В качестве аналитического сигнала выбрано абсолютное изменение оптической плотности  $\Delta A = A - A_0$ , где  $A$  и  $A_0$  – оптическая плотность полиметакрилатной матрицы при 290 и 365 нм после контакта с анализируемым раствором в присутствии и отсутствии определяемого компонента соответственно.

Реакция взаимодействия иодата с иодидом, сопровождающаяся выделением свободного иода, протекает в кислой среде. Предварительные исследования показали, что максимальных значений аналитический сигнал достигает при концентрациях кислоты в анализируемом растворе 0.02-0.03 М.

Заметное влияние на аналитический сигнал оказывает концентрация иодида в растворе, по-

скольку он не только участвует в редокс-реакции, но и связывает образующийся в результате реакций молекулярный иод в трийодидный комплекс. Установлено, что оптимальная концентрация иодида в растворе 0.02 % мас., дальнейшее увеличение концентрации иодида в растворе приводит к увеличению светопоглощения полиметакрилатной матрицы ( $A_0$ ) после контакта с раствором сравнения (все компоненты, кроме иодата) и к сужению диапазона определяемых содержаний, при этом не влияет на чувствительность определения иодата.

В табл. 1 приведены параметры градуировочных зависимостей и пределы обнаружения, рассчитанные по 3s-критерию. Несмотря на то, что измерение аналитического сигнала на длине волны 290 нм приводит к увеличению коэффициента чувствительности, однако при этом предел обнаружения иодата увеличивается. Это связано с тем, что измерение аналитического сигнала при 290 нм приводит к более высоким значениям дис-

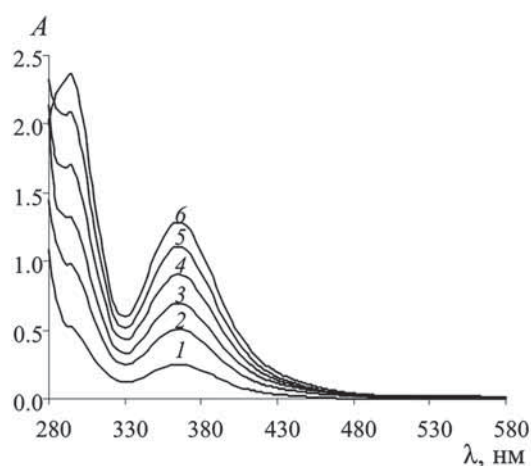


Рис. 1. Спектры поглощения иода в полиметакрилатной матрице после контакта матрицы с раствором иодата различной концентрации в присутствии иодида. Концентрация  $\text{IO}_3^-$ , мг/л: 1 – 0; 2 – 0.2; 3 – 0.4; 4 – 0.6; 5 – 0.8; 6 – 1.0 ( $c_{\text{KI}} = 0.02$  % мас.,  $c_{\text{HCl}} = 0.03$  М,  $t_{\text{конт}} = 5$  минут)

Fig. 1. Absorption spectra of iodine in polymethacrylate matrix after its contact with iodate solutions of different concentrations in the presence of iodide. Concentration  $\text{IO}_3^-$ , mg·L<sup>-1</sup>: 1 – 0; 2 – 0.2; 3 – 0.4; 4 – 0.6; 5 – 0.8; 6 – 1.0 ( $c_{\text{KI}} = 0.02$  %,  $c_{\text{HCl}} = 0.03$  M,  $t_{\text{cont}} = 5$  min)

Таблица 1

Аналитические характеристики методики твердофазно-спектрофотометрического определения иодата с использованием полиметакрилатной матрицы

Table 1

Analytical characteristics of the solid-phase-spectrophotometric determination of iodate using polymethacrylate matrix

$\lambda$ , нм	Уравнение градуировочной зависимости	$r$	$s_{\text{восп}}$	$s_{\text{адекв}}$	ДОС, мг/л	ПО, мг/л
290	$\Delta A = 1.635c$	0.999	0.0023	0.0020	0.2-1.2	0.05
365	$\Delta A = 0.705c$	0.996	0.0008	0.0007	0.2-3.6	0.03

Примечания: ДОС – диапазон определяемых содержаний, ПО – предел обнаружения,  $s_{\text{восп}}$  – дисперсия воспроизводимости,  $s_{\text{адекв}}$  – дисперсия адекватности.

Таблица 2

Результаты определения иодата в пищевой соли ( $n = 4-7, P = 0.95$ )

Table 2

Results of iodate determination in table salt ( $n = 4-7, P = 0.95$ )

Анализируемый объект	Указано на упаковке, мкг/г Иод / в пересчете на иодат	Найдено, мкг/г		
		Иодат	В пересчете на иод	$s_r$
«Соль экстра» СТО 73502643-001-2012	11.25-40.0 / 15.51-55.1	39.9 ± 1.8	28.9 ± 1.3	0.04
		40.7 ± 2.3	29.5 ± 1.9	0.02*
«Белоснежка» ГОСТ Р 51574-2000	40 ± 15 / 55 ± 21	42.2 ± 2.2	30.6 ± 1.6	0.04
		40.5 ± 2.1	29.4 ± 1.5	0.02*
«Зимушка-краса» ГОСТ Р 51574-2000	40 ± 15 / 55 ± 21	57.7 ± 0.9	41.9 ± 0.7	0.02
		57.4 ± 0.2	41.6 ± 0.2	0.003*

Примечания: \* – найдено методом титриметрии согласно [7].

персии воспроизводимости по сравнению со значением, полученным при измерении сигнала на 365 нм. Кроме того, измерение аналитического сигнала при длине волны 290 нм приводит к сужению диапазона определяемых содержаний иодата, поэтому в дальнейшем проводили измерение аналитического сигнала при длине волны 365 нм.

На основании проведенных исследований предложена твердофазно-спектрофотометрическая иодометрическая методика определения иодата с использованием полиметакрилатной матрицы и проведена ее апробация при определении иодата в пищевой соли.

Также в работе исследовано мешающее влияние катионов и анионов, содержащихся в поваренной соли [3] на определение иодата. Селективность оценивали при концентрации иодата 0.5 мг/л и переменной концентрации изучаемого сопутствующего иона. Относительное отклонение аналитического сигнала в присутствии постороннего компонента рассчитывали по формуле  $\delta(\%) = [(\Delta A_i - \Delta A) / \Delta A] \times 100$ , где  $\Delta A$  и  $\Delta A_i$  – абсолютное изменение оптической плотности полиметакрилатной матрицы при 365 нм после контакта с анализируемым раствором в отсутствие и в присутствии постороннего иона соответственно. Определению иодата не мешают 100-кратные количества Ca(II), Mg(II), K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. В присутствии перечисленных ионов относительное отклонение аналитического сигнала при определении иодата не превышает ± 10 %. Значительное влияние на определение иодата оказывает Fe(III), введенное в анализируемый раствор в сопоставимых с определяемым элементом количествах. В его присутствии относительное отклонение аналитического сигнала достигает 50 %. Мешающее действие Fe(III) можно устранить введением в раствор фторид-ионов в соотношении определяемое вещество: маскирующий агент = 1 : 20. В присутствии маскирующего агента относительное отклонение аналитического сигнала не превышает ± 3 %.

**Выполнение определения.** 50 г образца поваренной соли растворяли в мерной колбе объемом 500 мл. Из полученного раствора отбирали необходимые для анализа аликвоты, в зависимости от содержания иодата в объекте.

В 25 мл анализируемого раствора с pH = 1-2 (контроль pH-метром), содержащего 0.005-0.090 мг иодата и 50 мкл 10 % мас. раствора иодида калия, помещали пластинку полиметакрилатной матрицы и перемешивали в течение 5 минут, затем вынимали, подсушивали фильтровальной бумагой и измеряли поглощение при 365 нм. Содержание иодата находили по градуировочной зависимости, построенной в аналогичных условиях (табл. 1).

Проведен оперативный контроль процедуры анализа пищевой соли на содержание иодат-ионов с использованием контрольной процедуры для проверки точности с применением методики анализа поваренной пищевой соли на содержание иода, основанной на титровании иода, выделившегося при взаимодействии иодата калия и иодида калия в кислой среде, раствором тиосульфата натрия в присутствии индикатора (крахмала) (ГОСТ Р 51575-2000). С этой целью для результатов анализа поваренной соли по предлагаемой (X) и контрольной (X<sub>к</sub>) методикам (табл. 2) значение контрольной процедуры, рассчитанное по формуле  $K_k = |X - X_k|$ , сравнили с нормативом контроля (РМГ 76-2014):  $K = 0.84 \sqrt{\Delta X^2 - \Delta X_k^2}$ , где  $\Delta X$  и  $\Delta X_k$  – ха-

рактеристики погрешности при определении иода в соли по предлагаемой и контрольной методике соответственно. Результаты контроля точности приведены в табл. 3. Видно, что соотношение  $K_k < K$  выполняется для всех образцов поваренной соли. Это свидетельствует о том, что иодометрическая твердофазно-спектрофотометрическая методика определения иода обеспечивает требуемую точность анализа.

Используя полиметакрилатную матрицу в качестве твердофазного экстрагента можно выполнять визуальное полуколичественное определение

Таблица 3

Контроль точности результатов определения иода в поваренной соли ( $n = 3$ ,  $P = 0.95$ )

Table 3

Accuracy control of iodine determination in table salt ( $n = 3$ ,  $P = 0.95$ )

Объект	X	X <sub>к</sub>	K <sub>к</sub>	K
«Соль экстра»	28.9	29.5	0.6	1.9
«Белоснежка»	30.6	29.4	1.2	1.8
«Зимушка-краса»	41.9	41.6	0.3	0.6



Рис. 2. Цветовая шкала для визуально-тестового определения иодата

Fig. 2. Color scale for visual test-determination of iodate

иодата. Визуальное тест-определение проводили аналогично методике иодометрического твердофазно-спектрофотометрического определения. После контакта матриц с растворами анализа выполняли сравнение их окраски с цветовой шкалой, представленной на рис. 2. Цветовые шкалы сравнения получали путем сканирования образцов полученных при построении градуировочной зависимости. Визуально-тестовое определение можно проводить в диапазоне содержания иодата в растворе от 0.4 до 3.6 мг/л.

## Заключение

Показана возможность использования полиметакрилатной матрицы для твердофазно-спектрофотометрического определения 0.20–3.60 мг/л иодата с пределом обнаружения 0.03 мг/л при объеме анализируемой пробы 25 мл. Разработанная методика является легко осуществимой и выполняема с использованием стандартного спектрофотометрического оборудования. Показана применимость предложенной методики к анализу поваренной соли на содержание иодата. Кроме того, полиметакрилатную матрицу можно использовать в качестве готовой аналитической формы для экспрессного внелабораторного визуально-тестового определения иодата. Преимуществом разработанной иодометрической твердофазно-спектрофотометрической методики определения иодата по сравнению с титриметрическим методом является повышение чувствительности определения, простота, экспрессность анализа образцов поваренной соли, отсутствие потерь выделяющегося иода и необходимости использования стандартных растворов тиосульфата натрия и индикатора (крахмала).

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта № 17-303-50011 мол\_нр.

## Acknowledgements

The study is supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no 17-303-50011 mol\_nr).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Iodate analysis in table salt. / De Freitas G.R.S. [et al.] // *Eclética Química*. 2011. V. 36, № 1. P. 93-109.
2. Abdolmohammad-Zadeh H., Tavarid K., Talleb Z. Determination of iodate in food, environmental, and biological samples after solid-phase extraction with Ni-Al-Zr ternary layered double hydroxide as a nanosorbent // *The Scientific World Journal*. 2012. Article ID 145482. P. 1-8.
3. ГОСТ Р 51574-2000. Соль поваренная пищевая. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2005. 14 с.
4. Rebarry B., Paul P., Ghosh P.K. Determination of iodide and iodate in edible salt by ion chromatography with integrated amperometric detection // *Food chemistry*. 2010. V.123. P. 529-534.
5. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции. 172 с.
6. Xie Z., Zhao J. Reverse flow injection spectrophotometric determination of iodate and iodide in table salt // *Talanta*. 2004. V. 63. P. 339-343.
7. A highly sensitive and selective method for the determination of an iodate in table-salt samples using malachite green-based spectrophotometry / M. Konkayan [et al.] // *Analytical Sciences*. 2016. V. 32, № 11. P. 1231-1236.
8. ГОСТ Р 51575-2000. Соль пищевая поваренная иодированная. Методы определения йода и тиосульфата натрия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 17 с.
9. Molecular iodine selective membrane for iodate determination in salt samples: chemical amplification and preconcentration / P.R. Bhagat [et al.] // *Anal. Bioanal. chem.* 2008. V. 391. P.1081-1089.
10. Гавриленко Н.А., Саранчина Н.В., Гавриленко М.А. Колориметрический сенсор для определения кобальта на основе полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом // *Ж. аналит. химии*. 2015. Т. 70, № 12. P. 1283-1287.
11. Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Gavrilenko M.A. Colorimetric sensor based on silver nanoparticle – Embedded polymethacrylate matrix // *Advanced Materials Research*. 2014. V. 1040. P. 923-927.
12. Твердофазно-спектрофотометрическое иодометрическое определение нитрита и селена(IV) с использованием полиметакрилатной матрицы / Н.А. Гавриленко [и др.] // *Ж. аналит. химии*. 2017. Т. 72, № 5. С. 476-480.
13. Индикаторный чувствительный материал для определения микроколичеств веществ / Гавриленко Н.А., Мокроусов Г.М. Пат. 2272284 Рос. Федерация; № 2004125304/04; заявл. 18.08.2004; опубл. 20.03.2006. Бюл. №8. 9с.
14. ГОСТ 4212-76. Реактивы. Методы приготовления растворов для колориметрического и нефелометрического анализа. М.: Стандартинформ, 2008. 22 с.
15. Investigation of the iodine-poly(vinylpyrrolidone) interaction employed in the determination of biocidal iodine by colorimetric solid-phase extraction / D.B. Gazda [et al.] // *Anal. Chimica. Acta*. 2004. V. 510. P. 241-247.

## REFERENCES

- De Freitas G.R.S., Da Silva Jr. H., Da Silva Pereira F.R., De Farias R.F., Pereira F.C. Iodate analysis in table salt. *Eclética Química*, 2011, vol. 36, no. 1, pp. 93-109.
- Abdolmohammad-Zadeh H., Tavarid K., Talleb Z. Determination of iodate in food, environmental, and biological samples after solid-phase extraction with Ni-Al-Zr ternary layered double hydroxide as a nanosorbent. *The Scientific World Journal*, 2012, Article ID 145482, pp. 1-8. doi: 10.1100/2012/145482.
- GOST R 51574-2000. *Sol' povarennaia pishchevaia. Tekhnicheskie usloviia*. [State Standart 51574-2000. Food salt. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 14 p. (in Russian).
- Rebary B., Paul P., Ghosh P.K. Determination of iodide and iodate in edible salt by ion chromatography with integrated amperometric detection. *Food chemistry*, 2010, vol. 123, pp. 529-534. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.04.046.
- Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soiuz TR TS 021/2011. *O bezopasnosti pishchevoi produktsii*. Technical regulations Eurasian Customs Union TR 021/2011. Food safety. 172 p. (in Russian).
- Xie Z., Zhao J. Reverse flow injection spectrophotometric determination of iodate and iodide in table salt. *Talanta*, 2004, vol. 63, pp. 339-343. doi: 10.1016/j.talanta.2003.10.050.
- Konkayan M., Limchoowong N., Sricharoen P., Chanthai S. A highly sensitive and selective method for the determination of an iodate in table-salt samples using malachite green-based spectrophotometry. *Analytical Sciences*, 2016, vol. 32, no. 11, pp. 1231-1236. doi: 10.2116/analsci.32.1231.
- GOST R 51575-2000. *Sol' pishchevaia povarennaia iodirovannaia. Metody opredeleniia ioda i tiosul'fata natriia*. [State Standart 51575-2000. Food common salt with content of iodine. Methods for determination of iodine and sodium thiosulphate]. Moscow, IPK Publishing house of standards, 2008. 17 p. (in Russian).
- Bhagat P.R., Pandey A.K., Acharya R., Natarajan V., Rajurkar N.S., Reddy A.V. R. Molecular iodine selective membrane for iodate determination in salt samples: chemical amplification and preconcentration. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2008, vol. 391, pp. 1081-1089. doi: 10.1007/s00216-008-2057-1.
- Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Gavrilenko M.A. A colorimetric sensor based on a polymethacrylate matrix with immobilized 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol for the determination of cobalt. *Journal of Analytical Chemistry*, 2015, vol. 70, no. 12, pp. 1475-1479. doi: 10.1134/S1061934815120060.
- Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Gavrilenko M.A. Colorimetric sensor based on silver nanoparticle – Embedded polymethacrylate matrix. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1040, pp. 923-927. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.923.
- Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Fedan D.A., Gavrilenko M.A. Solid-phase spectrophotometric iodometric determination of nitrite and selenium(IV) using a polymethacrylate matrix. *Journal of Analytical Chemistry*, 2017, vol. 72, no. 5, pp. 546-550. doi: 10.1134/S1061934817030054.
- Gavrilenko N.A., e.a. *Indikatornyi chuvstvitel'nyi material dlia opredeleniia mikrokolichestv veshchestv* [Indicating sensitive material for determination of trace substances]. Patent RF, no. 2272284, 2006. (in Russian).
- GOST 4212-76. *Reaktivy. Metody prigotovleniia rastvorov dlia kolorimetriceskogo i nefelometriceskogo analiza*. [State Standard 4212-76. Reagents. Methods for the preparation of solutions for the colorimetric and nephelometric analysis]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 22 p. (in Russian).
- Gazda D.B., Lipert R.J., Fritz J.S., Porter M.D. Investigation of the iodine-poly(vinylpyrrolidone) interaction employed in the determination of biocidal iodine by colorimetric solid-phase extraction. *Anal. Chimica. Acta*, 2004, vol. 510, pp. 241-247. doi: 10.1016/j.aca.2004.01.010.