

Оригинальная статья / Original article

УДК 543.422.3.546.72.3

<http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-395-402>

Определение микроколичеств железа в природных продуктах

© Ч.А. Мамедова

Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Резюме: На основе салицилового альдегида синтезирован новый органический реагент – (Е)-2-гидрокси-3-((2-гидроксibenзилиден)(амино)бензолсульфокислота. Изучено комплексообразование железа (III) с (Е)-2-гидрокси-3-((2-гидроксibenзилиден)(амино)бензолсульфокислотой (R) в присутствии и в отсутствие поверхностно-активных веществ (ПАВ) – цетилпиридиний хлорида, цетилтриметиламмоний бромида и Тритон X-114. Установлено, что железо (III) с реагентом образует окрашенные разнолигандные комплексы в присутствии третьих компонентов. Определены оптимальные условия комплексообразования для бинарного комплекса Fe(III)-R (pH = 4, $\lambda_{\max}$ = 353 нм), а также для разнолигандных комплексов – Fe(III)-R-ЦПСИ (pH = 3, $\lambda_{\max}$ = 374 нм), Fe(III)-R-ЦПМАВr (pH = 2, $\lambda_{\max}$ = 392 нм) и Fe(III)-R-Тритон X-114 (pH = 3, $\lambda_{\max}$ = 385 нм). Установлено соотношение реагирующих компонентов в составе однолигандных соединений железа – Fe(III)-R – 1:2, и смешаннолигандных: Fe(III)-R-ЦПСИ – 1:1:2; Fe(III)-R-ЦПМАВr – 1:1:1, Fe(III)-R-Тритон X-114 – 1:2:1. Определены молярные коэффициенты поглощения и константы устойчивости комплексов Fe(III). Молярные коэффициенты комплексов Fe(III)-R, Fe(III)-R-ЦПСИ, Fe(III)-R-ЦПМАВr и Fe(III)-R-Тритон X-114 составляют 10000, 16250, 19000 и 11000 соответственно. Установлен интервал подчинения закону Бера, мкг/мл: Fe(III)-R – 0,448–2,24; Fe(III)-R-ЦПСИ – 0,112–4,48; Fe(III)-R-ЦПМАВr – 0,12–4,48; Fe(III)-R-Тритон X-114 – 0,224–2,24. Изучено влияние некоторых ионов и маскирующих веществ на образование бинарного и разнолигандных комплексов Fe(III). Показано, что в присутствии ПАВ значительно увеличивается избирательность реакции. Разработана методика спектрофотометрического определения Fe(III) в фасоли, грибах и шиповнике. Данные, полученные по предлагаемой методике, и результаты атомно-абсорбционной спектрометрии хорошо согласуются между собой. Предлагаемая методика определения Fe(III) с (Е)-2-гидрокси-3-((2-гидроксibenзилиден)(амино)бензолсульфокислотой в присутствии цетилтриметиламмоний бромида (ЦПМАВr) проста, экспрессна и дает надежные результаты.

Ключевые слова: спектрофотометрическое определение Fe(III), комплексообразование, поверхностно-активные вещества, (Е)-2-гидрокси-3-((2-гидроксibenзилиден)(амино)бензолсульфокислота, цетилпиридиний хлорид, цетилтриметиламмоний бромид, Тритон X-114

Информация о статье: Дата поступления 21 мая 2018 г.; дата принятия к печати 5 сентября 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2019 г.

Для цитирования: Мамедова Ч.А. Определение микроколичеств железа в природных продуктах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, N 3. С. 395–402. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-395-402

Trace determination of iron in natural products

© Chinara A. Mammadova

Abstract: A new organic reagent, (E)-2-hydroxy-3-((2-hydroxybenzylidene) (amino) benzenesulphonic acid, was synthesised on the basis of salicylic aldehyde. The complexation of iron (III) with c (E)-2-hydroxy-3-((2-hydroxybenzylidene) (amino) benzenesulphonic acid (R) was studied both in the presence and absence of the following surface-active substances (SAA): cetylpyridinium chloride, cetyltrimethylammonium bromide and Triton X-114. Fe (III) was established as forming coloured mixed-ligand complexes with the reagent in the presence of third components. The optimal complexation conditions were determined for the Fe (III)-R binary complex (pH = 4, $\lambda_{\max}$ = 353 nm), as well as for the multi-ligand complexes of Fe(III)-R-CPCI (pH = 3, $\lambda_{\max}$ = 374 nm), Fe(III)-R-CPMABr (pH = 2, $\lambda_{\max}$ = 392 nm) and Fe(III)-R-Triton X-114 (pH = 3, $\lambda_{\max}$ = 385 nm). The proportion of reacting components in the composition of Fe(III)-R homogeneous ligand iron compounds was determined

to be equal to 1:2. Mixed ligand compositions were 1:1:2, 1:1:1 and 1:2:1 for Fe(III)-R-CPCI, Fe(III)-R-CPMABr and Fe(III)-R-Triton X-114, respectively. The molar absorption coefficients and stability constants of Fe(III) complexes were determined. The molar coefficients of the complexes Fe(III)-R, Fe(III)-R-CPCI, Fe(III)-R-CPMABr and Fe(III)-R-Triton X-114 comprise 10,000, 16,250, 19,000 and 11,000, respectively. The intervals of obedience to Beer's law ($\mu\text{g/mL}$) were determined to range 0.448-2.24, 0.112-4.48, 0.12-4.48 and 0.224-2.24 for Fe(III)-R, Fe(III)-R-CPCI, Fe(III)-R-CPMABr and Fe(III)-R-Triton X-114, respectively. The effect of some ions and masking substances on the formation of binary and mixed-ligand complexes of Fe(III) was studied. The presence of a surfactant was demonstrated to significantly increase the selectivity of the reaction. A technique was developed for spectrophotometric determination of Fe(III) in beans, mushrooms and briar. The data obtained using the proposed method are in good agreement with the results of atomic absorption spectrometry. The proposed method for the determination of Fe(III) with (E)-2-hydroxy-3-(2-hydroxybenzylidene)(amino)benzenesulphonic acid in the presence of cetyltrimethylammonium bromide (CTMABr) is simple, rapid and provides reliable results.

Keywords: Fe(III) spectrophotometric determination, complexation, SAA, (E)-2-hydroxy-3-(2-hydroxybenzylidene)(amino)benzene sulphonic acid, cetylpyridinium chloride, cetyltrimethylammonium bromide, Triton X-114

Information about the article: Received May 21, 2019; accepted for publication September 5, 2019; available online September 30, 2019.

For citation: Mammadova Ch.A. Trace determination of iron in natural products. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2019, vol. 9, no. 3, pp. 395–402 (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-395-402

ВВЕДЕНИЕ

Железо является наиболее распространенным переходным металлом в живой системе и выполняет больше биологических функций, чем любой другой металл. Хотя железо требуется для ряда жизненно важных функций, его основная роль заключается в переносе кислорода в ткани. Железо также необходимо для правильного функционирования многочисленных ферментов [1]. Соли железа широко используются в промышленных материалах [2], в производстве лакокрасочной продукции, удобрений, кормов и дезинфицирующих средств [3], они являются важными строительными компонентами в биологических системах [4]. С другой стороны, избыточное количество железа может привести к токсичности.

Все это требует точного определения иона металла на следовых и ультраследовых уровнях. Спектрофотометрия по сути является методом анализа следов и является одним из самых действенных и надежных инструментов в химическом анализе [5–9]. Поэтому разработку более совершенных фотометрических методик следует считать актуальной проблемой.

Из литературных источников известно, что для определения Fe(III) использовались различные реагенты: (4-гидрокси-3,5-диметоксибензальдегид-4-гидроксибензоилгидразон [10], 2-гидрокси-4-н-бутокси-5-бромпропиофенон тиосемикарбазон [11], 2-(2,3-дигидрокси-4-оксоциклобут-2-энилиден) гидрозинкарботиамида [12], 8-гидроксихиолин [13], салициловая кислота [14], пироксам [15]. В настоящей статье сообщается об использовании синтезированного авторами нового органического реагента – (E)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензилиден)(амино)бензолсульфо-

кислоты, для спектрофотометрического определения следов железа. Этот метод обладает явными преимуществами по сравнению с существующими методами [10–15] в отношении чувствительности. В данной работе спектрофотометрическим методом исследовано взаимодействие Fe(III) с (E)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензилиден)(амино)бензолсульфокислотой в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) – цетилпиридиний хлорида (ЦПЦИ), цетилтриметиламмоний бромида (ЦТМАВр) и Тритон X-114.

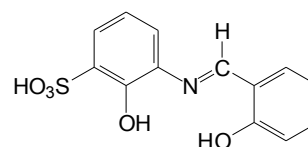
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Аппаратура. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре Lambda 40 («Perkin Elmer», США) и фотокolorиметре КФК-2 (ПО «Загорский оптико-механический завод», Россия) в кювете с толщиной слоя 1 см. С помощью иономера И-130 со стеклянным электродом (Завод измерительных приборов, Беларусь) контролировали pH растворов.

Растворы и реагенты. На основе салицилового альдегида синтезирован новый органический реагент – (E)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензилиден)(амино)бензолсульфокислота. Состав и строение установлено методами элементного анализа и ЯМР-спектроскопии.

Вычислено, %: C – 53,2; N – 4,8; O – 27,2; S – 11,0; H – 3,8.

Найдено, %: C – 52,8; N – 4,6; O – 26,9; S – 10,7; H – 3,5.



^1H ЯМР-спектр ($\text{DMCO-d}_6, \delta$): 6,86–7,89 (m, 8H, 2Ar); 9,02 (s, 1H, CH=); 9,82 (s, 1H, OH_{Ar}); 13,98 (s, 1H, OH).

^{13}C ЯМР-спектр ($\text{DMCO-d}_6, \delta$): 117,12 (CH_{Ar}); 117,14 (CH_{Ar}); 119,24 (CH_{Ar}); 120,19 (CH_{Ar}); 128,71 (CH_{Ar}); 132,84 (CH_{Ar}); 133,62 (CH_{Ar}); 135,64 (C_{tert}); 151,89 (C_{tert}); 161,26 (C_{tert}); 162,32 (C_{tert}).

В работе использовали $2 \cdot 10^{-3}$ М этанольный раствор реагента и водно-этанольные растворы (3:7) ПАВ, которые готовили растворением их точных навесок. Исходный раствор железа ($1 \cdot 10^{-1}$ М) готовили растворением точной навески из металлического железа (ч.д.а.) в концентрированной соляной кислоте при нагревании [16]. Рабочие растворы с меньшим содержанием железа готовили разбавлением исходного раствора. Для создания необходимой кислотности использовали фиксанал HCl (pH = 1–2) и аммиачно-ацетатные растворы (pH = 3–11).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексообразование Fe(III) с реагентом в присутствии ПАВ. Известно, что катионные ПАВ – ЦПСИ, ЦТМАВr, склонны образовывать с катионами и индикаторами подобного строения разнолигандные комплексы [17]. При взаимодействии с реагентом образуется окрашенный комплекс Fe(III)-R с максимальным поглощением при pH = 4; $\lambda = 353$ нм, сам реагент поглощается при 310 нм. В присутствии ПАВ образуются разнолигандные комплексы – Fe(III)-R-ЦПСИ, Fe(III)-R-ЦТМАВr, Fe(III)-R-Тритон X-114, с максимальным поглощением при 374, 392, 385 нм соответственно (рис. 1, табл. 1).

Как видно из графиков, представленных на рис. 1, под влиянием третьих компонентов в спектрах реагента наблюдается bathochromный

эффект. Максимальная делокализация π -электронной системы реагента приводит к bathochromному смещению полосы поглощения образующихся ассоциатов [17].

Изучение зависимости оптической плотности от pH раствора показало, что все комплексы образуются в кислой среде (рис. 2).

Метод Старика – Барбанеля позволяет точно определить стехиометрические коэффициенты в независимости от устойчивости комплекса и интервала концентрации взаимодействующих веществ и применим к любой стехиометрической реакции. Для определения состава комплекса этим методом, сохраняя постоянной концентрацию металла, но изменяя концентрацию реактива, готовят серию растворов. Затем строят кривые относительного выхода в координатах $A/C_R - A/A_{\max}$ ($C_{\text{Me}} = \text{const}$). Если уравнение реакции соответствует $\text{Me} + \text{R} \rightarrow \text{MeR}_n$, то согласно кривой значение n будет вычисляться по выражению:

$$n = 1/(1 - A/A_{\max}); A/C_R = \text{max}.$$

Если графическая зависимость линейна, то стехиометрические коэффициенты равны единице. Все методы показали, что соотношение компонентов Fe(III)-R в бинарных комплексах равно 1:2, а в разнолигандных комплексах наблюдалось следующее соотношение: Fe(III)-R-Тритон X-114 = 1:2:1; Fe(III)-R-ЦПСИ = 1:1:2; Fe(III)-R-ЦТМАВr = 1:1 (рис. 3, 4). Молярные коэффициенты светопоглощения комплексов вычислены из кривых насыщения [19]. Установлены интервалы концентрации, где соблюдается закон Бера, основные спектрофотометрические характеристики даны в табл. 1.

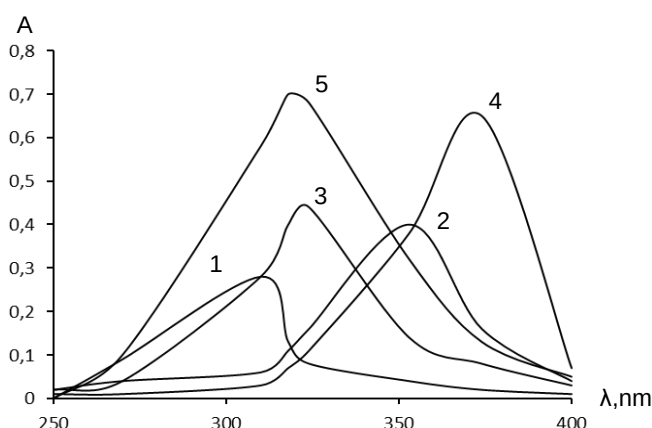


Рис. 1. Спектры поглощения раствора реагента и его комплексов с железом(III) в присутствии и в отсутствие поверхностно-активных веществ при $\lambda_{\text{опт}}$ на фоне контрольного опыта: 1 – R; 2 – Fe-R; 3 – Fe-R-ЦПСИ; 4 – Fe-R-Тритон X-114; 5 – Fe-R-ЦТМАВr

Fig. 1. Absorption spectra of the reagent (R) solution and its complexes with iron(III) in the presence and absence of surfactants at λ_{opt} against the background of control: 1 – R; 2 – Fe-R; 3 – Fe-R-SPCI; 4 – Fe-R-Triton X-114; 5 – Fe-R-STMAVr

Таблица 1

Химико-аналитические характеристики комплексов Fe(III)
с (Е)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензилиден)(амино)бензолсульфокислотой
в присутствии поверхностно-активных веществ

Table 1

Spectrophotometric characteristics of the complexes Fe (III)
with (E) -2-hydroxy-3-(2-hydroxybenzylidene)(amino)benzenesulfonic acid
in the presence of surfactants

Комплекс	pH_{opt}	λ_{max} , нм	ε	Интервал подчинения закону Бера, мкг/мл	Соотношение компонентов	$lg\beta$
Fe(III)-R	4	353	10000	0,448–2,24	1:2	8,65±0,04
Fe(III)-R-ЦПСИ	3	374	16250	0,112–4,48	1:1:2	9,84±0,20
Fe(III)-R-ЦПМАВr	2	392	19000	0,112–4,48	1:1:1	10,08±0,16
Fe(III)-РитонХ-114	3	385	11000	0,224–2,24	1:2:1	9,45±0,25
Fe(III)-1этокси-2-(гидрокси-3-сульфо- 5-нитрофенилазо) бутан-1,3-дион [18]	1–4	370	8700	0,22–2,24	1:2	–
Fe(III)-салициловая кислота [14]	2,26	520	1700	2–24	1:1	–
Fe(III)-2-(2,3-дигидрокси-4-оксоциклобут- 2-энилиден)гидразин-карботиамида [12]	–	465	1950	0,27–33,5	1:2	–

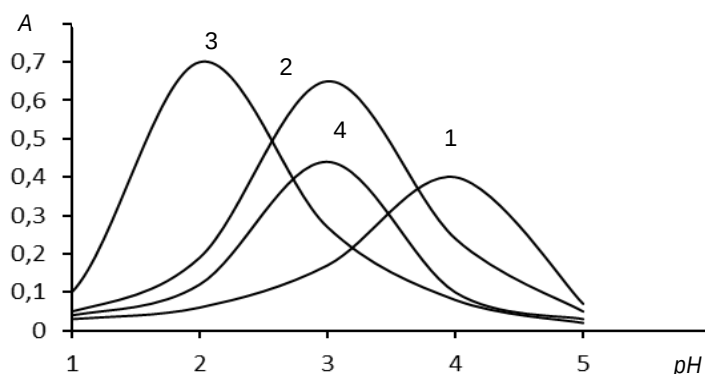


Рис. 2. Зависимость оптической плотности растворов комплексов железа (III) от pH при λ_{opt} : 1 – Fe-R; 2 – Fe-R-ЦПСИ; 3 – Fe-R-ЦТМАВr; 4 – Fe-R-Ритон Х-114

Fig. 2. Absorbance spectra of iron (III) complexes in optimum pH:
1 – Fe-R; 2 – Fe-R-SPCI; 3 – Fe-R-STMABr; 4 – Fe-R-Triton X-114

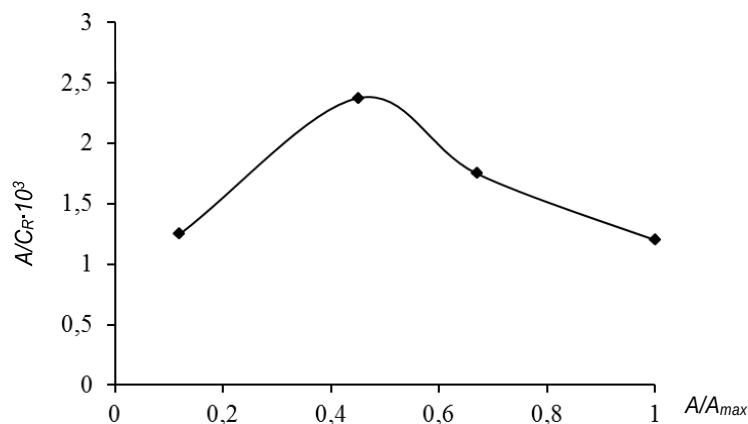


Рис. 3. Определение соотношения компонентов в системе Fe-R по методу Старика – Барбанеля

Fig. 3. Determination of the Fe-R complex composition by the Starik Barbanel method

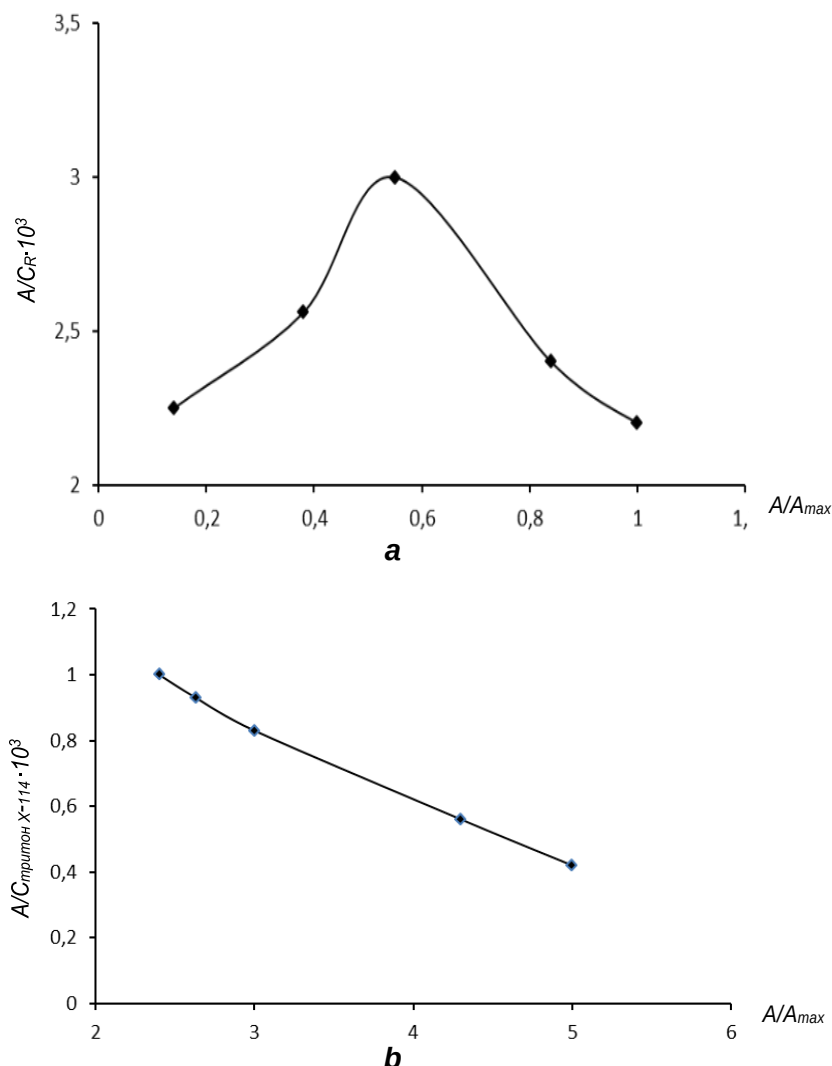


Рис. 4. Определение соотношения компонентов в системе Fe-R-ТритонХ-114 по методу Старика – Барбанеля: а – R; б – ТритонХ-114

Fig 4. Determination of the Fe-R-Triton X-114 complex composition by the Starik Barbanel method: a – R; b – Triton X-114

Влияние посторонних ионов на определение Fe(III). Изучение влияния посторонних ионов на определение Fe(III) в виде бинарных и разнолигандных комплексов показало, что в присутствии ПАВ значительно увеличивается избирательность реакции. Сравнительная избирательность систем вычисляется по нижеследующему выражению и приведена в табл. 2.

$$\frac{v_{noc}}{v_{me}} = \frac{v_{noc}}{v_{me}} \cdot \frac{A_{noc}}{A_{me}} \cdot \frac{C_{noc}}{C_{me}}$$

Методика анализа. Навеску образца массой 200 г фасоли, грибов и шиповника после высушивания помещали в графитовую чашку, сжигали в муфельной печи при 250–450 °С до полного разложения органических веществ. Полученную золу растворяли в смеси 15 мл HCl и 5 мл

HNO₃ в чашке из стеклогуглерода и обрабатывали три раза 4–5 мл HCl при 60–70 °С до полной отгонки оксидов азота. Далее смесь растворяли в дистиллированной воде, фильтровали в колбе емкостью 100 мл и разбавляли до метки. Аликвотную часть раствора переносили в мерную колбу емкостью 25 мл, добавляли 2 мл 2·10⁻³ М раствора реагента, 1 мл 10⁻² М раствора цетилтриметиламмоний бромида (ЦТМАВr) и доводили объем до метки аммиачно-ацетатным буферным раствором (pH = 2). Оптическую плотность раствора измеряли на приборе КФК-2 при λ = 400 нм на фоне контрольного опыта в кювете с толщиной поглощающего свет слоя l = 1 см. Содержание железа находили по предварительно построенному градуировочному графику. Полученные результаты представлены в табл. 3 и сопоставлены с данными анализа атомно-абсорбционного метода (ААС).

Таблица 2

Допустимые кратные количества посторонних веществ по отношению к железу (III) при его определении в виде бинарного и разнолигандных комплексов (погрешность 5%)

Table 2

Admissible ratios of foreign ions to iron (III) in determining in the form of binary and mixed ligand complexes (5% error)

Ион или вещество	Fe-R	Fe-R-ЦПЦИ	Fe-R-ЦПМАВr	Fe-R-Тритон-X114	О-фенантролин [20]
Щелочные металлы	*	*	*	*	500
Щелочно-земельные металлы	*	*	*	*	500
Ni(II)	316	527	527	316	2
Co(II)	316	316	527	316	10
Zn(II)	350	580	580	350	10
Mn(II)	100	491	491	197	500
Cu(II)	12	343	57	46	10
Cd(II)	200	1000	800	800	50
Al(III)	280	145	193	145	500
V(V)	90	91	27	90	*
MoO ₄ ²⁻	130	200	200	160	5
WO ₄ ²⁻	100	329	986	329	5
Мочевина	110	535	430	322	*
NH ₄ F	200	200	313	63	500
Лимонная кислота	840	1028	1028	1372	*
Винная кислота	1000	1071	1340	1071	*

* Посторонние ионы (вещества) не мешают определению ионов железа(III).

Таблица 3

Результаты определения железа (III) в фасоли, грибах и шиповнике (n = 5, P = 0,95)

Table 3

Results of iron (III) determination in beans, mushrooms and wild rose (n = 5, P = 0.95)

Анализируемый объект	Найдено Fe, % масс.	
	R+цетилтриметиламмоний бромида (ЦТМАВr)	AAC
Фасоль	$(13,6 \pm 0,06) \cdot 10^{-2}$	$(14,1 \pm 0,03) \cdot 10^{-2}$
Грибы	$(6,8 \pm 0,02) \cdot 10^{-2}$	$(7,1 \pm 0,01) \cdot 10^{-2}$
Плоды шиповника	$(2,0 \pm 0,02) \cdot 10^{-2}$	$(2,2 \pm 0,04) \cdot 10^{-2}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные по избирательности дают возможность применить разработанную методику для фотометрического определения Fe(III) в виде разнолигандных комплексов в сложных объектах. Синтезированный авторами настоящей статьи новый органический реагент – (Е)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензилиден)(амино)бензолсульфокислота, использован для спектрофотометрического определения следов Fe(III) в фасоли, грибах и

плодах шиповника. Результаты предлагаемой методики и AAC хорошо согласуются между собой. Таким образом, разработанная методика определения Fe(III) с (Е)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензилиден)(амино)бензолсульфокислотой в присутствии цетилтриметиламмоний бромида (ЦТМАВr) проста, экспрессна и дает надежные результаты. Также этот метод имеет явное преимущество по сравнению с существующими методами в отношении чувствительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Qi X., Huang J., Zhao W. Determination of titanium and iron in titanium mineral with spectrophotometry // Guangdong weiliang Yansue kexue. 2007. Vol. 14. P. 49–51.
2. Sun X.-H., Ma H., Tian R., Chai H., Liu Y. Spectrophotometric study on the determination of iron (III) using p-diethyl amine phenyl fluorine // Huaxue Shiji. 2007. Vol. 29. P. 293–294.
3. Hasani M., Razace A., Abdollahi H. Kinetic spectrophotometric determination of Fe(II) in the presence of Fe(III) by H-point standard addition method in mixed micellar medium // Spectrochimica

- Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2007. Vol. 68. Issue 3. P. 414–419. DOI: 10.1016/j.saa.2006.12.011
4. Yin G., Ma X., Kang S. Kinetic photometric determination of trace amounts of Fe (III) by the decoloration reaction of azocasmine B // Lihua Jiyanyan Huasue Fence. 2005. Vol. 41. P. 515–517.
5. Khan S., Dashora R., Goswami A.K., Purohit D.N. Review of spectrophotometric methods for determination of iron // Reviews in Analytical Chemistry. 2004. Vol. 23. Issue 1. P. 1–74. DOI: 10.1515/RE-VAC.2004.23.1.1

6. Hirayama T., Nagasawa H. Chemical tools for detecting Fe ions // *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 2017. Vol. 60. Issue 1. P. 39–48. DOI: 10.3164/jcbs.16-70

7. Kojlo A., Karpinska J., Kuzmicka L., Misiuk W., Puzanowska-Tarasiewicz H., Tarasiewicz M. Analytical study of the reaction of phenothiazines with some oxidants, metal ions, and organic substances (review article) // *Journal of Trace and Microprobe Techniques*. 2001. Vol. 19. Issue 1. P. 45–70. DOI: 10.1081/TMA-100001461

8. Voelz J.L., Johnson N.W., Chun C.L., Arnold W.A., Penn R.L. Quantitative Dissolution of Environmentally Accessible Iron Residing in Iron-Rich Minerals: A Review // *ACS Earth and Space Chemistry*. 2019. Vol. 3. Issue 8. P. 1371–1392. DOI: 10.1021/acsearthspacechem.9b00012

9. Yan Z.Q., Hu L., You J.M. Sensing materials developed and applied for bio-active Fe³⁺ recognition in water environment // *Analytical Methods*. 2016. Vol. 8. Issue 29. P. 5738–5754. DOI: 10.1039/c6ay01502f

10. Krishna D.G., Devi Ch.K. Determination of iron (III) in presence of micellar medium using 4-hydroxy 3,5-dimethoxy benzaldehyde-4-hydroxy benzoyl hydrazone by spectrophotometry // *International Journal of Chemical Science and Technology*. 2012. Vol. 2. No. 2. P. 29–31.

11. Parikh K.S., Patel R.M., Patel K.N. 2-Hydroxy-4-n-butoxy-5-bromopropiophenone thiosemicarbazone as spectrophotometric reagent for iron // *Asian Journal of Chemistry*. 2010. Vol. 22. Issue 4. P. 2805–2810.

12. Saeidi M., Aboutalebi R., Darehkordi A. A new spectrophotometric reagent for Fe(III): 2-(2,3-dihydroxy-4-oxocyclobut-2-enylidene) hydrozinecarbothiamide and its application in real samples // *Journal of Chemistry*. 2013. Article ID 628253, 6 p.

<http://dx.doi.org/10.1155/2013/628253>

13. Adebayo B.K., Ayejuyo S., Okoro H.K., Ximba B.J. Spectrophotometric determination of Iron(III) in tap water using 8-hydroxyquinoline as a chromogenic reagent // *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10. Issue 71. P. 16051–16057. DOI: 10.5897/ajb10.1840

14. Rajendraprasad N., Basavaiah K. Modified spectrophotometric methods for determination of Iron(III) in leaves and pharmaceuticals using salicylic acid // *Indian Journal of Advances in Chemical Science*. 2016. Vol. 4. Issue 3. P. 302–307.

15. Lutfullah, Sharma S., Rahman N., Najmul S., Azmi S.N.H., Said H.J., Hidaifi A., Mansoor E., Algasmi A. Spectrophotometric determination of Fe(III) via complexation with piroxicam in synthetic mixture and soil samples // *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2010. Vol. 69. Issue 2. P. 135–141.

16. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1964. 386 с.

17. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества. М.: Наука, 1991. 250 с.

18. Алиева Р.А., Пашаев Ф.Г., Гасанов А.Г., Махмудов К.Е. Квантово-химические расчеты таутомерных форм азопроизводных этилацетоацетата и их применение для фотометрического определения железа (III) // *Методы и объекты химического анализа*. 2008. Т. 3. № 2. С. 167–174.

19. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа. 5-е изд., перераб. Л.: Химия, 1986. 432 с.

20. Немодрук А.А., Абалакина В.М., Морейская Л.В., Бурмистров М.Т. Методы аналитического контроля в цветной металлургии. Т. 9. Сплавы на медной основе. М., 1983. 92 с.

REFERENCES

1. Qi X., Huang J., Zhao W. Determination of titanium and iron in titanium mineral with spectrophotometry. *Guangdong weiliang Yansue kexue*. 2007, vol. 14, pp. 49–51.

2. Sun X.-H., Ma H., Tian R., Chai H., Liu Y. Spectrophotometric study on the determination of iron (III) using p-diethyl amine phenyl fluorine. *Huaxue Shiji*. 2007, vol. 29, pp. 293–294.

3. Hasani M., Razace A., Abdollahi H. Kinetic spectrophotometric determination of Fe(II) in the presence of Fe(III) by H-point standard addition method in mixed micellar medium. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2007, vol. 68, issue 3, pp. 414–419. DOI: 10.1016/j.saa.2006.12.011

4. Yin G., Ma X., Kang S. Kinetic photometric determination of trace amounts of Fe (III) by the decoloration reaction of azocarmine B. *Lihua Ji-yanyan Huasue Fence*. 2005, vol. 41, pp. 515–517.

5. Khan S., Dashora R., Goswami A.K., Purohit D.N. Review of spectrophotometric methods for

determination of iron. *Reviews in Analytical Chemistry*. 2004, vol. 23, issue 1, pp. 1–74. DOI: 10.1515/REVAC.2004.23.1.1

6. Hirayama T., Nagasawa H. Chemical tools for detecting Fe ions. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 2017, vol. 60, issue 1, pp. 39–48. DOI: 10.3164/jcbs.16-70

7. Kojlo A., Karpinska J., Kuzmicka L., Misiuk W., Puzanowska-Tarasiewicz H., Tarasiewicz M. Analytical study of the reaction of phenothiazines with some oxidants, metal ions, and organic substances (review article). *Journal of Trace and Microprobe Techniques*. 2001, vol. 19, issue 1, pp. 45–70. DOI: 10.1081/TMA-100001461

8. Voelz J.L., Johnson N.W., Chun C.L., Arnold W.A., Penn R.L. Quantitative Dissolution of Environmentally Accessible Iron Residing in Iron-Rich Minerals: A Review. *ACS Earth and Space Chemistry*. 2019, vol. 3, issue 8, pp. 1371–1392. DOI: 10.1021/acsearthspacechem.9b00012

9. Yan Z.Q., Hu L., You J.M. Sensing materials

developed and applied for bio-active Fe³⁺ recognition in water environment. *Analytical Methods*. 2016, vol. 8, issue 29, pp. 5738–5754. DOI: 10.1039/c6ay01502f

10. Krishna D.G., Devi Ch.K. Determination of iron (III) in presence of micellar medium using 4-hydroxy 3,5-dimethoxy benzaldehyde-4-hydroxy benzoyl hydrazone by spectrophotometry. *International Journal of Chemical Science and Technology*. 2012, vol. 2, no. 2, pp. 29–31.

11. Parikh K.S., Patel R.M., Patel K.N. 2-Hydroxy-4-n-butoxy-5-bromopropiophenone thiosemicarbazone as spectrophotometric reagent for iron. *Asian Journal of Chemistry*. 2010, vol. 22, issue 4, pp. 2805–2810.

12. Saeidi M., Aboutalebi R., Darehkordi A. A new spectrophotometric reagent for Fe(III): 2-(2,3-dihydroxy-4-oxocyclobut-2-enylidene) hydrazinecarbothiamide and its application in real samples. *Journal of Chemistry*. 2013, article ID 628253, 6 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/628253>

13. Adebayo B.K., Ayejuyo S., Okoro H.K., Ximba B.J. Spectrophotometric determination of Iron(III) in tap water using 8-hydroxyquinoline as a chromogenic reagent. *African Journal of Biotechnology*. 2011, vol. 10, issue 71, pp. 16051–16057. DOI: 10.5897/ajb10.1840

14. Rajendraprasad N., Basavaiah K. Modified spectrophotometric methods for determination of Iron(III) in leaves and pharmaceuticals using salicylic acid. *Indian Journal of Advances in Chemical*

Science. 2016, vol. 4, issue 3, pp. 302–307.

15. Lutfullah, Sharma S., Rahman N., Azmi S.N.H., Hidaifi H.J.S.A., AlQasbi M. M.A. Spectrophotometric determination of Fe(III) via complexation with piroxicam in synthetic mixture and soil samples. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2010, vol. 69, issue 2, pp. 135–141.

16. Korostelev P.P. *Prigotovlenie rastvorov dlya khimiko-analiticheskikh rabot* [Preparation of solutions for chemical analytical works]. Moscow: Nauka Publ., 1964, 386 p.

17. Savvin S.B., Chernova R.K., Shtykov S.N. *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva* [Surfactants]. Moscow: Nauka Publ., 1991, 250 p.

18. Alieva R.A., Pashaev F.G., Gasanov A.G., Makhmudov K.E. Quantum-chemical calculations of tautomeric forms of azo derivatives of ethyl acetate and their use for the photometric determination of iron (III). *Metody i ob"ekty khimicheskogo analiza*. 2008, vol. 3, no. 2, pp. 167–174. (In Russian)

19. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. *Prakticheskoe rukovodstvo po fotometricheskim i spektrofotometricheskim metodam analiza* [Practical guide for photometric and spectrophotometric analysis methods]. Leningrad: Khimiya Publ., 1986, 432 p.

20. Nemodruk A.A., Abalakina V.M., Moreiskaya L.V., Burmistrov M.T. *Metody analiticheskogo kontrolya v tsvetnoi metallurgii* [Methods of analytical control in non-ferrous metallurgy]. Vol. 9. *Splavy na mednoi osnove* [Copper based alloys]. Moscow, 1983, 92 p.

Критерии авторства

Мамедова Ч.А. выполнила экспериментальную работу, на основании полученных результатов провела обобщение и написала рукопись. Автор имеет на статью эксклюзивные авторские права и несет равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мамедова Чинара Аллахверди кызы, аспирант химического факультета, Бакинский государственный университет; научный сотрудник НИЛ «Экологическая химия и охрана окружающей среды»,
✉ e-mail: chinara.mamedova.86@mail.ru

Contribution

Chinara A. Mammadova carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Author has exclusive author's rights and bears responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX

Chinara A. Mammadova, Postgraduate Student, Faculty of Analytical Chemistry, Researcher, Scientific Laboratory "Ecological Chemistry and Environmental Protection",
✉ e-mail: Chinara.mamedova.86@mail.ru