

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMICAL SCIENCES

Оригинальная статья / Original article

УДК 543.4:543.64:546.72

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-42-50>**СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА (III) В РАЗНЫХ СОРТАХ ЯБЛОК**

© Р.А. Алиева*, А.В. Айвазова*, Ф.Е. Еспанди**, Ф.М. Чырагов*

*Бакинский государственный университет,
Аз 1148, Азербайджан, г. Баку, ул. З.Халилова, 23.

** Каражский филиал Независимого Исламского Университета

Синтезирован реагент на основе бензоилацетона и изучены аналитические возможности этого реагента на железо (III). Изучено комплексообразование Fe(III) с 1-фенил-2-[2-гидроксифенилазо]бу-тадионом-1,3 (ФГФАБ) в присутствии диантипирилметана (ДАМ), диантипирилфенилметана (ДАФМ) и диантипирилортооксифенилметана (ДАОФМ). Установлены оптимальные условия комплексообразования. Вычислены основные спектрофотометрические характеристики комплексов (pH_{opt} , λ_{opt} , молярный коэффициент поглощения, состав комплексов, интервал подчинения закону Бера). Исследовано комплексообразование железа (III) с реагентом и установлено, что в присутствии ДАМ, ДАФМ и ДАОФМ образуются разнолигандные комплексы, при этом наблюдаются bathochromic сдвиги в спектре поглощения и максимальный выход сдвигается в кислую среду по сравнению однороднолигандным комплексом. Установлены соотношения реагирующих компонентов в составе однородно- Fe-R (1:2) и смешаннолигандного FeR-ДАМ (1:2:2), FeR-ДАФМ (1:2:1) и FeR-ДАОФМ (1:2:2) комплексов. Показано, что определение железа (III) с реагентом в присутствии ДАОФМ высокоизбирательно. Изучено влияние некоторых ионов и маскирующих веществ на образование бинарного и разнолигандных комплексов железа (III). Многократные количества щелочных и щелочно-земельных металлов не мешают определению железа. Разработанная методика применяется для определения микроколичеств железа в трех сортах яблок.

Ключевые слова: определение железа, комплексообразование, спектрофотометрический метод, диантипирилметан, диантипирилфенилметан, диантипирилортооксифенилметан.

Формат цитирования. Алиева Р.А., Айвазова А.В., Еспанди Ф.Е., Чырагов Ф.М. Спектрофотометрический метод определения железа (III) в разных сортах яблок // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, N 1. С. 42–50. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-42-50

DETERMINATION OF IRON (III) IN VARIOUS APPLE CULTIVARS USING THE SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

© R.A. Aliyeva*, A.V. Ayvazova*, F.E. Espandi**, F.M. Chiragov*

*Baku State University,
23, Z. Khalilov St., Baku, Azerbaijan, AZ1148.

**Independent Islamic University, Karazhsky Branch

In this study, a reagent based on benzoylacetone is synthesized, and its analytical potential for determining iron (III) is established. The complexation of iron (III) with 1-phenyl-2- [2-hydroxyphenylazo] butadione-1,3 (PHPAB) in the presence of diantipyrylmethane (DAM), diantipyrylphenylmethane (DAPM) and diantipyrylorthoxyphenylmethane (DAOPM) is analysed and optimal conditions for the complexation are established. The main spectrophotometric characteristics of the as-obtained complexes are calculated, including pH_{opt} , λ_{opt} , the molar absorption coefficient, the composition of the complexes and the interval of subordination to Beer's law. The study of iron (III) complexation with the reagent shows that multi-ligand complexes form in the presence of DAM, DAPM and DAOPM. In this process, bathochromic shifts in the absorption spectrum are observed, with the maximum yield shifting to an acid medium. The ratios of the reacting components are calculated for homogeneous Fe-R (1: 2), multi-ligand FeR-DAM (1: 2: 2), FeR-DAPM (1: 2: 1) and FeR-DAOPM (1: 2: 2) complexes. The determination of iron (III) with the reagent in the presence of DAOPM is shown to be highly selective. The effect of some ions and masking agents on the formation of bi- and multi-ligand iron (III) complexes is studied. It is demonstrated that significant amounts of alkali and alkaline earth metals do not hinder the process of iron determination. The developed technique is used to determine the micro-quantities of iron (III) in three apple cultivars.

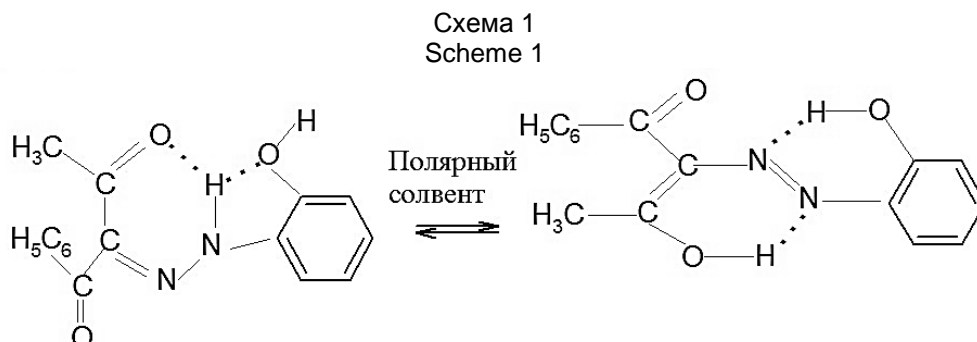
Keywords: *determination of iron, complex formation, spectrophotometric method, diantipyrimetane, diantipyrimilphenylemetane, diantipyrimilorthooxyphenylemetane*

For citation. Aliyeva R.A., Ayvazova A.V., Espandi F.E., Chiragov F.M. Determination of iron (III) in various apple cultivars using the spectrophotometric method. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2018, vol. 8, no. 1, pp. 42–50. (in Russian) DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-42-50

ВВЕДЕНИЕ

Введение азопроизводных β-дикетонов, одновременно содержащих такие функциональные группы, как =C=O, –N=N–, –NH–N=, –OH, образующиеся вследствие сдвига тауто-

мерного равновесия в зависимости от среды (рН, растворителя) в аналитическую практику железа (III) является актуальной проблемой [1, 2] (схема 1).



Азопроизводные β-дикетонов являются высокоизбирательными реагентами для фотометрического определения железа (III)^{1,2} [3–11]. Известно, что их комплексы обладают противомикробной, противоопухолевой, антибактериальной, антигрибковой, пестицидной и противовоспалительной активностью [12–16].

Поэтому применение азопроизводных β-дикетонов и изучение их комплексообразования с ионами металла считается актуальным³ [17].

Методики фотометрического определения железа(III) в виде разнолигандных комплексов с

этим реагентом в присутствии третьих компонентов различного класса обладают высокой чувствительностью и избирательностью. Исходя из этого актуальным является изучение комплексообразования Fe(III) с 1-фенил-2-[2-гидроксифенилазо] бутадиион-1,3 в присутствии третьего компонента.

Цель настоящей работы – разработка высокоизбирательной методики фотометрического определения железа(III) во фруктах, с применением азосоединения на основе бензоилацетона – 1-фенил-2-[2-гидрокси-фени-лазо] бутадииона-1,3 и гидрофобных азотсодержащих

¹ Бабаев А. К. Фотометрическое определение железа (III) и некоторых сопутствующих элементов β-дикетонами и их азометиновыми производными: дис. ... канд. хим. наук. Баку, 1982. 188 с.

Babaev A.G. *Fotometricheskoe opredelenie zheleza (III) i nekotorykh soputstvuyushchix elementov β-diketonami i ikh azometinovymi proizvodnymi*. Dis. kand. khim. nauk [Photometric determination of Fe(III) and some accompanying elements with β-diketones and their azomethine derivatives. PhD thesis]. Baku, 1982, 188 p. (in Azerbaijan)

² Мухамед О.Р. Изучение аналитических возможностей новых производных бензоилацетона и экстракционно-фотометрическое определение некоторых неорганических ионов: дис. ... канд. хим. н. Баку, 1991. 166 с.

Muhamed O.P. *Izuchenie analiticheskikh vozmozhnostei novykh proizvodnykh benzoila-*

tsetona i ekstraktsionno-fotometricheskoe opredelenie nekotorykh neorganicheskikh ionov. Dis. kand. khim. nauk [The study of the analytical capabilities of the new derivatives of benzoylacetone and extraction-photometric determination of some inorganic ions. PhD thesis]. Baku, 1991, 166 p. (in Azerbaijan)

³ Чырагов Ф. М. Комплексные соединения металлов с производными β-дикетонов: синтез, строение, свойства и аналитическое применение: дис. ... д-ра хим. наук. Баку, 2003. 264 с. (in Azerbaijan)

Chyragov F.M. Dis. *Kompleksnyye soedineniya metallov s proizvodnymi β-diketonov: sintez, stroenie, svoistva i analiticheskoe primeneniye*. Dis. dokt. khim. nauk [Complex compounds of metals with β-diketones derivatives synthesis, structure, properties and analytical application, Dr. chem. cci. thesis]. Baku, 2003 264 p. (in Azerbaijan)

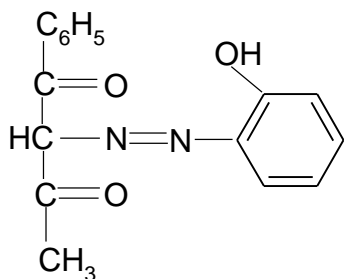
соединений – диантипирилметана, диантипирилфенилметана и диантипирилортооксифенилметана.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Используемый реагент ранее был синтезирован и его строение установлено методами элементного анализа, ИК, ЯМР-спектроскопии и рентгеноструктурным анализом⁴ [20].

Чистота синтезированного соединения установлена методом бумажной хроматографии, структурная формула реагента представлена на схеме 2.

Схема 2
Scheme 2



Растворы и реагенты. Реагент хорошо растворим в этаноле. Использовали $1 \cdot 10^{-3}$ М этанольный раствор реагента, $1 \cdot 10^{-2}$ М водно-этанольный раствор диантипирилметана, диантипирилфенилметана и диантипирилортооксифенилметана. Исходный ($1 \cdot 10^{-1}$ М) раствор хлорного железа готовили растворением точной навески металлического железа (ч.д.а.) в конц. HCl при нагревании [22]. 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).

Аппаратура. pH растворов контролировали с помощью иономера PHS-25 со стеклянным электродом. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Lambda 40 (Perkin Elmer) и фотокалориметре КФК-2 (l = 1 см).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение зависимости комплексообразования от кислотности среды показало, что максимальный выход комплекса FeR-ДАМ наблюдается при pH 2 ($\lambda_{max}=455$ нм) соответственно (рис.1).

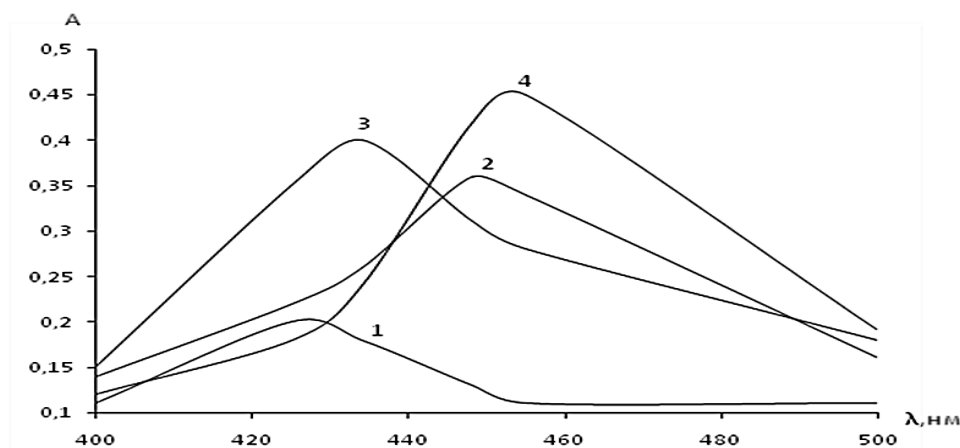


Рис. 1. Спектры поглощения раствора реагента и его комплексов с железом (III) в присутствии и отсутствии ДАМ, ДАФМ и ДАОФМ при оптимальном значении pH соответствующих систем: 1 – FeR; 2 – FeR-ДАМ; 3 – FeR-ДАФМ; 4 – FeR-ДАОФМ

Fig. 1. Absorption spectra of reagent and its complexes with iron (III) in the presence and absence of DAM, DAPM and DAOPM at the optimum pH of the respective system: 1 – FeR; 2 – FeR-DAM; 3 – FeR-DAPM; 4 – FeR-DAOPM

⁴Нагиев Х.Д. Новые производные пиразолона, как аналитические реагенты для спектрофотометрического и экстракционно-атомно-абсорбционного определения железа(III), кобальта(II) и меди(II): дис. ... канд. хим. н. Баку, 1997, 207 с. Nagiev H.D. *Novye proizvodnyye pirazolona, kak analiticheskii reagent dlya spektrofotometri-*

cheskogo i ekstrakcionno-atomno-absorb-tionnogo opredeleniya zheleza(III), kobalta(II) i medi(II). Dis. kand. khim. nauk [New derivatives of pyrazolone as analytical reagents for spectrophotometric and extraction - atomic - absorption determination of iron(III), cobalt(III) and copper(II). PhD Thesis]. Baku, 1997, 207 p. (in Azerbaijan)

Установлено, что в присутствии третьего компонента диантипирилметана (ДАМ), диантипирилфенилметана (ДАФМ) и диантипирилортооксифенилметана (ДАОФМ) образуются разнолигандные комплексы, при образовании которых наблюдается батохромный сдвиг по сравнению со спектром бинарного комплекса и оптимальный pH комплексообразования сдвигается в более кислую среду pH=2 (FeR-ДАМ),

pH=3 (FeR-ДАФМ) и pH=3 (FeR-ДАОФМ) (рис. 2).

Исследованные комплексные соединения образуются сразу после смешивания растворов компонентов. Соотношение реагирующих компонентов в комплексах установлено методами изомолярных серий, относительного выхода Старика-Барбанеля, сдвига равновесия (рис. 3 и 4).

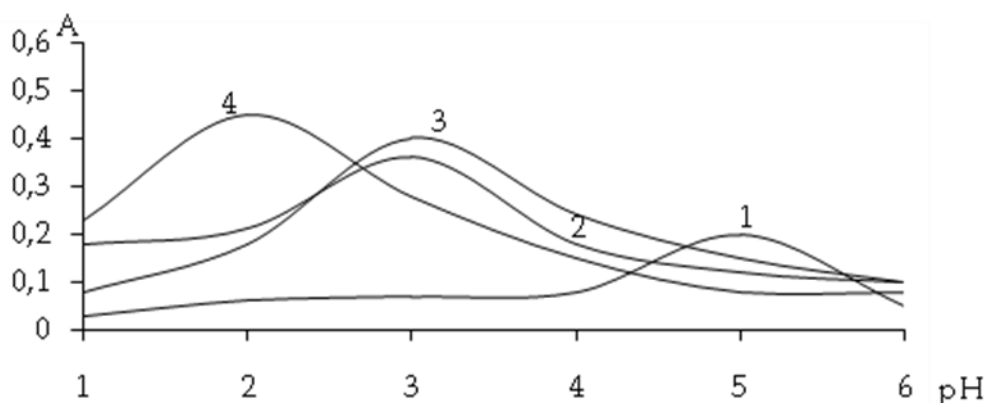


Рис. 2. Зависимость оптической плотности растворов комплексов железа (III) от pH при $\lambda_{\text{опт}}$: 1 – Fe (III)-R; 2 – Fe (III)-R-ДАМ; 3 – Fe (III)-R-ДАФМ; 4 – Fe (III)-R-ДАОФМ

Fig. 2. Optical density of solutions of complexes of iron (III) versus pH at the λ_{opt} : 1 – Fe (III)-R; 2 – Fe (III)-R-DAM; 3 – Fe (III)-R-DAPM; 4-Fe (III) - R-DAOPM

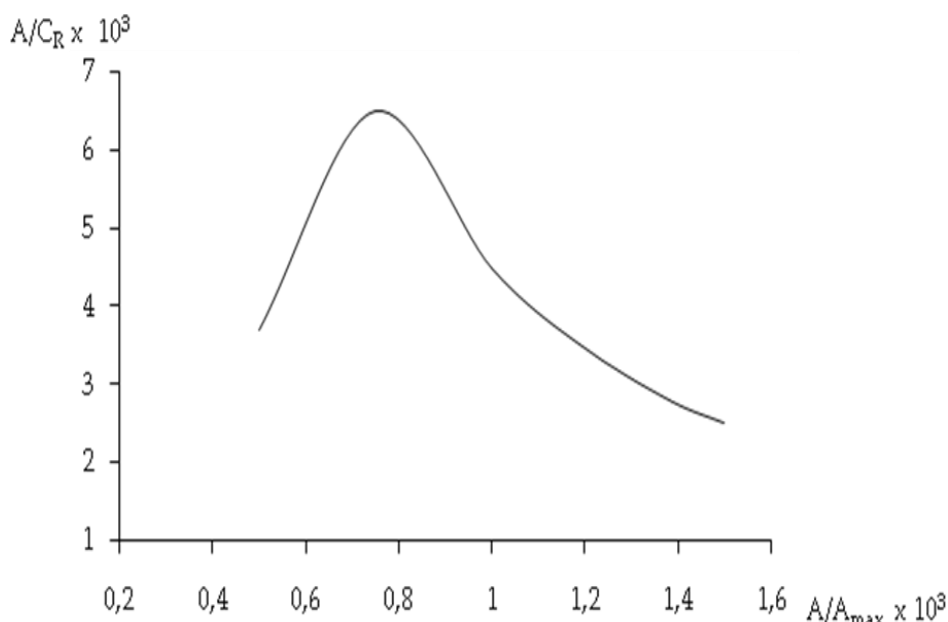


Рис. 3. Определение соотношения компонентов в системе Fe (III)-R по методу Старика – Барбанеля

Fig. 3. Starik – Barbanel's determination of components ratio in the Fe (III)-R system

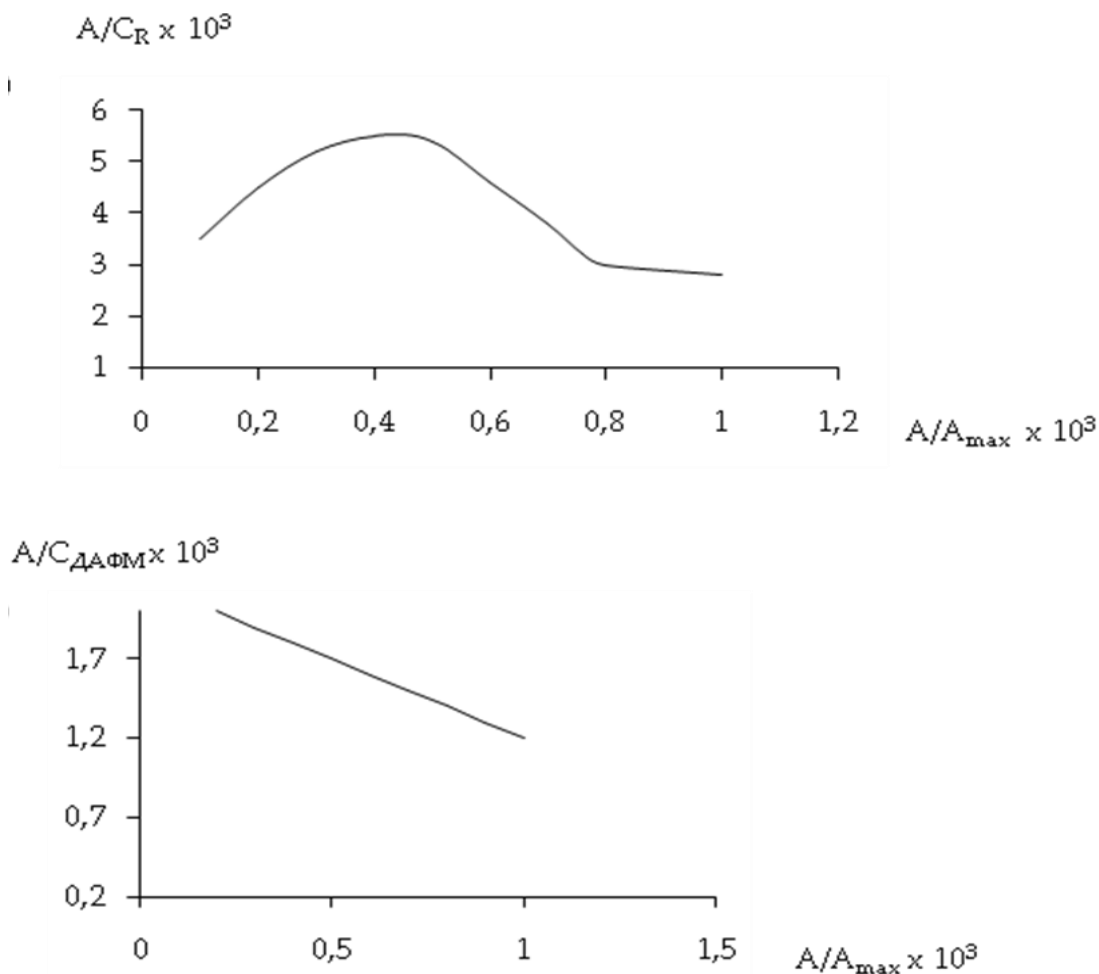


Рис. 4. Определение соотношения компонентов в системе Fe (III)-R-ДАФМ по методу Старика – Барбанеля

Fig. 4. Starik – Barbanel's determination of components ratio in the Fe (III)-R-DAPM system

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

$$n = \frac{1}{1 - \frac{A}{A_{max}}} \quad A/C_R = max$$

В комплексе Fe (III)-R соотношение компонентов 1:2.

Если графическая зависимость будет линейной тогда состав равен единице.

Все методы показали, что соотношение компонентов Fe(III)-R в бинарных комплексах равно 1:2, а в разнолигандных комплексах Fe(III)-R-ДАМ=1:2:2, Fe(III)-R-ДАФМ=1:2:1, Fe(III)-R-ДАОФМ=1:2:2.

Молярные коэффициенты светопоглощения комплексов вычислены из кривых насыщения [23]. Установлены интервалы концентраций, в которых соблюдается закон Бера (табл.1). Основные спектрофотометрические характеристики даны в табл. 1.

Изучено влияние посторонних ионов и маскирующих веществ на фотометрическое определение железа (III) в виде бинарного и смешаннолигандного комплексов. Сравнительная избирательность систем вычисляется по ниже следующему выражению и приведена в табл. 2.

Разработанная методика применена для определения микроколичеств железа в трех сортах яблок – Сибирянке, Цыганке, Голден Делешес [25].

Таблица 1
Основные фотометрические характеристики комплексов железа(III)

Table 1
Basic photometric characteristics of iron (III) complexes

Реагент	pH	λ_{\max}	Соотношение	ϵ_{\max}	Интервал подчинения з Бера, мкг/мл
Fe-R	5	425	1:2	17 860	0,11–2,74
Fe-R-ДАМ	2	455	1:2:2	22 600	0,11–3,36
Fe-R-ДАФМ	3	434	1:2:1	26 700	0,11–6,72
Fe-R-ДАОФМ	3	448	1:2:2	28 600	0,11–5,60

Таблица 2
Допустимые кратные количества посторонних веществ по отношению к железу (III) при его определении в виде бинарного и смешанолигандных комплексов (погрешность 5%)

Table 2
Permissible multiples of foreign substances in relation to iron (III) when it is determined in the form of binary and mixed ligand complexes (5% error)

Ион или вещество	Fe-R	Fe-R-ДАМ	Fe-R-ДАФМ	Fe-R-ДАОФМ	1-Окси-4-сульфо-2-нафтатная кислота [24]
Щелочные металлы	*	–	–	–	–
Щелочно-земельные металлы	*	–	–	–	–
Ni(II)	1700	1765	1720	1650	100
Co(II)	1500	1700	1650	2000	–
Zn(II)	430	670	780	850	100
Mn(II)	285	328	320	500	–
Cu(II)	230	380	280	330	–
Cd(II)	1200	1667	1650	1550	100
Al(III)	100	260	300	200	100
Cr(III)	139	155	158	140	–
Sn(IV)	120	180	175	165	150
V(V)	30	50	51	45	–
Sb(V)	16	20	25	30	–
F ⁻	200	220	220	500	–
Лимонная кислота	260	345	350	370	–
Винная кислота	580	1000	1000	900	–
Na ₂ HPO ₄	720	844	855	816	–

$$\frac{v_{\text{пос}}}{v_{\text{ме}}} = \frac{v_{\text{пос}}}{v_{\text{ме}}} \times \frac{A_{\text{пос}}}{A_{\text{ме}}} \times \frac{C_{\text{пос}}}{C_{\text{ме}}}$$

Методика анализа. Навеску образца фрукта массой 200 г после высушивания помещают в графитовую чашку, сжигают в муфельной печи при 550–750 °С до полного разложения органических веществ. Полученную золу растворяют в смеси 15 мл HCl и 5 мл HNO₃ в чашке из стеклоглерода и обрабатывают три раза 4–5 мл HCl при 60–70 °С до полной отгонки

оксидов азота. Далее смесь растворяют в дистиллированной воде, фильтруют в колбе емкостью 100 мл и разбавляют до метки. Аликвотную часть раствора переносят в мерную колбу емкостью 25 мл, добавляют 2 мл 2×10⁻³ М раствора реагента, 1 мл 10⁻²М раствора диантипирилфенилметана и доводят объем до метки аммиачно-ацетатным буферным раствором pH=3. Оптическую плотность раствора измеряют на приборе КФК-2 при $\lambda = 490$ нм на фоне контрольного опыта в кювете с толщиной поглощающего свет слоя $l = 1$ см. Содержание железа находят по предварительно построенному градуировоч-

ному графику. Полученные результаты представлены в табл. 3 и сопоставлены с данными анализа атомно-абсорбционного метода (ААС). Результаты предлагаемой методики и ААС хорошо согласуются между собой. Таким обра-

зом, предлагаемая методика определения железа (III) с 1-фенил-2-[2-гидроксифенилазо]бутадион-1,3 в присутствии диантипирилортооксифенилметана проста, экспрессна и дает надежные результаты.

Таблица 3

Результаты определения железа (III) в яблоках (n=5, P=0,95)

Table 3

The results of the determination of iron (III) in apples (n = 5, P = 0.95)

Анализируемый объект	Найдено Fe, % мас.	
	R+ДАОФМ	ААС
Сибирянка	$(5,6 \pm 0,07) \times 10^{-3}$	$(5,62 \pm 0,09) \times 10^{-3}$
Цыганка	$(2,48 \pm 0,06) \times 10^{-2}$	$(2,45 \pm 0,10) \times 10^{-2}$
Голден Делишес	$(3,36 \pm 0,04) \times 10^{-2}$	$(3,32 \pm 0,03) \times 10^{-2}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фотометрическим методом было изучено комплексообразование железа (III) с 1-фенил-2-[2-гидрокси-фенилазо]бутадион-1,3 в присутствии диантипирилметана, диантипирилфенилметана и диантипирилортооксифенилметана. Определены оптимальные условия образования комплексов и их спектрофотометрические характеристики. Для монолигандных комплек-

сов состав образуется в соотношении 1:2, а для разнолигандных – 1:2:2(FeR-ДАМ), 1:2:1(FeR-ДАФМ), 1:2:2(FeR-ДАОФМ). Полученные результаты показывают, что комплекс железа (III) с 1-фенил-2-[2-гидроксифенилазо]бутадион-1,3 обладает наиболее широкими аналитическими возможностями. Фотометрическое определение железа было изучено на трех сортах яблок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mahmudov K.T., Rahimov R.A., Babanly M.B., Hasanov P.Q., Pashaev F.G., Gasanov A.G., Kopylovich M.N., Pombeiro A.J.L. Tautomerism and acid-base properties of some azoderivatives of benzoylacetone // *Journal of Molecular Liquids* 2011. V. 162, N 2. P. 84–88.

2. Алиева Р. А., Пашайев Ф. Г., Гасанов А. Г., Махмудов К. Т. Квантово-химические расчеты таутомерных форм азопроизводных этилацетоацетата и их применение для фотометрического определения железа(III) // *Методы и объекты химического анализа*. 2008. Т. 3, N 2. С. 167–174.

3. Редди В. К, Редди С. М, Редди П. Одно-временное спектрофотометрическое определение меди(2+), ванадия(5+) и железа(3+) с использованием бензоилгидразона 2-гидрокси-1-нафталальдегида // *Журнал аналитической химии*. 2000. Т. 55, N 5. С. 486–490.

4. Эспанди Ф. Е., Алиева Р. А., Алиева Ф. С., Чырагов Ф. М. Изучение комплексообразования железа(III) с 3-(2-гидрокси-3-сульфо-5-нитрофенилазо)-пентан-2,4-диона в присутствии диантипирилметана и его гомологов // *Вестник БУ, Естественные науки*. 2012. N 3. С. 30–37.

5. Vukadin M. Leovac, Luka J. Bjelica, Ljiljana S. Jovanovic, Stepan Yu. Chundak. Complexes of iron(III) with benzoylacetone 1-naphthoylhydrazone // *Polyhedron*. 1986. 5, Issue 4. P. 983–990. [https://doi.org/10.1016/s0277-5387\(00\)80139-4](https://doi.org/10.1016/s0277-5387(00)80139-4)

6. Xia, Shiping. Simultaneous determination

of iron (II) and cobalt (II) by spectrophotometry // *Huaxue Fenxi Jiliang*. 2010. V. 19, N 1. P. 43–45.

7. Денисова С.А., Леснов А.Е., Петров Б.И. Экстракционно-фотометрическое определение ионов железа и кобальта с использованием системы вода-дiantiпирилметалнафтами 2-сульфо кислота-тиоцианат ион // *Тез. докл. 7 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока – 2004»* (11–16 октября, 2004 г., г. Новосибирск). Новосибирск: Изд-во Института катализа СО РАН. Т. 1. С. 214.

8. Коломиец Л. Л., Пилипенко Л. А., Жмуд И. М., Панфилова И. П. Использование производной спектрофотометрии для избирательного определения никеля, кобальта, меди и железа (III) 4-(2-пиридилазо)резорцином в бинарных смесях // *Журнал аналитической химии*. 1999. Т. 54, N 1. С. 34–36.

9. Makhijani R.M., Barhate V.D. Extractive spectrophotometric determination of iron (II) with [N-(o-methoxybenzaldehyde)-2-aminophenol] // *International Journal of Current Pharmaceutical Research*. 2013. V. 5, Issue 2. P. 6–89.

10. Pathak P., Jolly V. S. & Sharma K. P. Synthesis and biological activities of some new substituted arylazo Schiff bases // *Orient. J. Chem*. 2000. V. 16. P. 161–162.

11. Xu H., Zeng X. Synthesis of diaryl-azo derivatives as potential antifungal agents // *Bioorg. Med. Chem. Lett*. 2000. V. 20. P. 4193–4195.

12. Samadhiya S., Halve A. Synthetic utility of

Schiff bases as potential herbicidal agents. // *Orient. J. Chem.* 2001. V. 17. P. 119–122.

13. Tonelli M., Vazzana I., Tasso B., Boido V., Sparatore F., Fermeglia M., Paneni M. S., Posocco P., Pricl S., Colla P., Ibba C., Secci B., Collu G. & Loddo R. Antiviral and cytotoxic activities of amino-arylazo compounds and aryltriazene derivatives // *Bioorg. Med. Chem.* 2009. V. 17. P. 4425–4440.

14. Rani P., Srivastava V. K. & Kumar A. Synthesis and anti-inflammatory activity of heterocyclic indole derivatives // *Eur. J. Med. Chem.* 2004. V. 39. P. 449–452.

15. Пешкова В. М., Мельчакова Н. В. β-Дикетоны. М.: Наука, 1986, 200 с.

16. Проблемы химии и применения β-дикетонатов металлов // Под. ред. В.И. Спицына. М.: Наука, 1982. 265 с.

17. Бусев А. И. Синтез новых органических реагентов для неорганического анализа. М.:

Изд-во МГУ, 1972 г. 245 с.

18. Kopylovich M.N., Mahmudov K.T., Haukka M., Luzyanin K.V., Pombeiro A.I.L. (E)-2-(2-(2-hydroxyphenyl)hydrazono)-1-phenylbutane-1,3-dione: Tautomerism and coordination to copper(II) // *Inorg. Chim. Acta.* 2011. V. 374. P. 175–180.

19. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М.: Химия, 1964. 386 с.

20. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1972. 407 с.

21. Кришна Р.В., Мутта Р.С., Иенья А.Н. Спектрофотометрическое определение железа, меди в сплавах, рудах, органах животных, сельскохозяйственных продуктах, воде β-дикетонатных аддуктов // *Журнал аналитической химии.* 2009. Т. 58, N 5. С. 499–503.

REFERENCES

1. Mahmudov K.T., Rahimov R.A., Babanly M.B., Hasanov P.Q., Pashaev F.G., Gasanov A.G., Kopylovich M.N., Pombeiro A.J.L. Tautomerism and acid-base properties of some azoderivatives of benzoylacetone. *Journal of Molecular Liquids.* 2011, vol. 162(2), pp. 84–88. DOI: 10.1016/j.molliq.2011.06.005

2. Alieva R.A., Pashaiev F.H., Gasanov A.H., Makhmudov K.T. Quantum-chemical calculation tautomeric forms azoderivatives of ethylacetoacetate and its application for photometric determination of iron(III). *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza* [Methods and objects of chemical analysis]. 2008, vol. 3, no. 2, pp. 167–174.

3. Reddi V.K, Reddi S.M, Reddi P. [et al.] Simultaneous spectrophotometric determination of copper(2+), vanadium(5+) and iron(3+) using benzoylhydrazone 2-hydroxy-1-naphthaldehyde. *Zhurnal analiticheskoi khimii* [Journal of Analytical Chemistry]. 2000, vol. 55, no. 5, pp. 486–490. (in Russian)

4. Espandi F.E., Alieva R.A., Alieva F.S., Chyragov F.M. Study of complex formation of iron(III) with 3-(2-hydroxy-3-sulfo-5-nitrophenylazo)-pentane-2,4-dione in the presence of diantipirilmethane and homologues. *Vestnik BU. Estestvennye nauki* [News of Baku University. Series of natural sciences]. 2012, no. 3, pp. 30–37. (in Azerbaijan)

5. Leovac V.M., Bjelica L.J., Jovanovic L.S., Chundak S.Yu. Complexes of iron(III) with benzoylacetone 1-naphthoylhydrazone. *Polyhedron.* 1986, vol. 5, no. 4, pp. 983–990. [https://doi.org/10.1016/s0277-5387\(00\)80139-4](https://doi.org/10.1016/s0277-5387(00)80139-4)

6. Xia Shiping. Simultaneous determination of iron (II) and cobalt (II) by spectrophotometry. *Huaxue Fenxi Jiliang.* 2010, vol. 19(1), pp. 43–45. (in Chinese)

7. Denisova S.A., Lesnov A.E., Petrov B.I. Ekstraktsionno-fotometricheskoe opredelenie

ionov zheleza i kobal'ta s ispol'zovaniem sistem voda-diantipirilmetalnaftami 2-sul'fokislota-tiosianat ion [Extraction-photometric determination of iron and cobalt ions with using the system water-diantipirilmetalnaftami 2-sulfonic acid-thiocyanate ion]. *Materialy 7 Konferentsii «Analitika Sibiri i Dal'nego Vostoka-2004»* [Proc. 7 Conf. «Analytics of Siberia and the Far East-2004»]. Novosibirsk, 2004, vol. 1. p. 214.

8. Kolomiets L.L., Pilipenko L.A., Zhmud I.M., Panfilova I.P. Using derivative spectrophotometry for selective determination of nickel, cobalt, copper and iron (III) 4-(2-pyridylazo) resorcinol in binary mixtures. *Zhurnal analiticheskoi khimii* [Journal of Analytical Chemistry]. 1999, vol. 54, no. 1, pp. 34–36. (in Russian)

9. Makhijani R.M., Barhate V.D. Extractive spectrophotometric determination of iron (II) with [N-(o-methoxybenzaldehyde)-2-aminophenol]. *International Journal of Current Pharmaceutical Research.* 2013, vol. 5 (2), no. 8, pp. 6–89. (in India)

10. Pathak P., Jolly V.S., Sharma K.P. Synthesis and biological activities of some new substituted arylazo Schiff bases. *Orient. J. Chem.* 2000, vol. 16, pp. 161–162.

11. Xu H., Zeng X. Synthesis of diaryl-azo derivatives as potential antifungal agents. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2000, vol. 20, pp. 4193–4195.

12. Samadhiya S., Halve A. Synthetic utility of Schiff bases as potential herbicidal agents. *Orient. J. Chem.* 2001, vol. 17, pp. 119–122.

13. Tonelli M., Vazzana I., Tasso B., Boido V., Sparatore F., Fermeglia M., Paneni M.S., Posocco P., Pricl S., Colla P., Ibba C., Secci B., Collu G., Loddo R. Antiviral and cytotoxic activities of amino-arylazo compounds and aryltriazene derivatives. *Bioorg. Med. Chem.* 2009, vol. 17, pp. 4425–4440.

14. Rani P., Srivastava V.K., Kumar A. Synthesis and anti-inflammatory activity of heterocyclic indole derivatives. *Eur. J. Med. Chem.* 2004, vol.

39, pp. 449–452.

15. Peshkova V.M., Melchakova N.V. *β -Diketony* [β -Diketones]. Moscow: Nauka Publ., 1986, 200 p.

16. Denliev N., Muraveva I.A., Martynenko L.I., Spitsin V.I. *Problemy khimii i primeneniya β -diketonatov metallov* [Problems of chemistry and application of β -diketonates of metals]. Moscow: Nauka Publ., 1982, 276 p.

17. Busev A.I. *Sintez novykh organicheskikh reagentov dlya neorganicheskogo analiza* [Synthesis of new organic reagents for inorganic analysis]. Moscow: MSU Publ., 1972, 245 p.

18. Kopylovich M.N., Mahmudov K.T., Naukka M., Luzyanin K.V., Pombeiro A.I.L. (*E*)-2-(2-(2-hydroxyphenyl)hydrazono)-1-phenylbutane-1,3-dione: Tautomerism and coordination to copper(II).

Inorg. Chem. Acta. 2011, vol. 374, pp. 175–180. (in Switzerland)

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

20. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. *Prakticheskoe rukovodstvo po fotometricheskim i spektrofotometricheskim metodam analiza* [A practical guide to photometric and spectrophotometric analysis methods]. Leningrad: Khimiya Publ., 1972, 407 p.

21. Krishna P.B., Mutta P.C., Ien'ya A.N. Spectrophotometric determination of iron, copper in alloys, ores, organs of animals, agricultural products, water β -diketonate adducts. *Zhurnal analiticheskoi khimii* [Journal of Analytical Chemistry]. 2009, pp. 58, no. 5, pp. 499–503. (in Russian)

Критерии авторства

Алиева Р.А., Айвазова А.В., Еспанди Ф.Е., Чырагов Ф.М. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Алиева Р.А., Айвазова А.В., Еспанди Ф.Е., Чырагов Ф.М. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Рафига А. Алиева

Бакинский государственный университет
Академик, Руководитель научно-исследовательской лаборатории «Экологическая химия и охрана окружающей среды»

Арзу В. Айвазова

Бакинский государственный университет
Докторант
ayvazova_89@mail.ru

Фатемех Е. Еспанди

Независимый Исламский Университет,
Каражский филиал
Докторант

Фамил М. Чырагов

Бакинский государственный университет
Д.х.н., профессор

Contribution

Aliyeva R.A., Ayvazova A.V., Espandi F.E., Chiragov F.M. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Aliyeva R.A., Ayvazova A.V., Espandi F.E., Chiragov F.M. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

AUTHORS' INDEX Affiliations

Rafiga A. Aliyeva

Baku State University
Director of Research-Scientific Laboratory «Ecological Chemistry and Environmental Protection», Academician

Arzu V. Ayvazova

Baku State University
Postgraduate Student
Faculty of Analytical Chemistry
ayvazova_89@mail.ru

Fatemeh E. Espandi

Independent Islamic University, Karazhsky Branch
Postgraduate Student
Faculty of Analytical Chemistry

Famil M. Chiragov

Baku State University
Doctor of Chemistry, Professor
Analytical Chemistry Department

Поступила 09.02.2017

Received 09 February 2017