

Оригинальная статья / Original article

УДК 543.42:546.74:54.412. 2

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-196-204>

Изучение комплексообразования никеля(II) с 1,3-дифенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо)проподионом-1,3 в присутствии третьих компонентов

© В.И. Марданова*, Ш.А. Тахирли**, С.Р. Гаджиева*, Ф.М. Чырагов*

* Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

** Ленкоранский государственный университет, г. Ленкорань, Азербайджан

Резюме: Изучено влияние третьих компонентов – α, α' -дипиридила (α, α' -дип), фенантролина (Фен) и батофенантролина (Б-фен), на комплексообразование никеля(II) с 1,3-дифенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо)проподионом-1,3 (R). Однородно- (Ni-R) и смешанолигандные (Ni(II)-R- α, α' -дип, Ni(II)-R-Фен и Ni(II)-R-Б-фен) комплексные соединения образуются при pH = 6, 5,5 и 5 соответственно. Максимальный выход составил: комплекса Ni(II)-R – при концентрации R $8 \cdot 10^{-5}$ M; комплекса Ni(II)-R- α, α' -дип – при концентрации R $8 \cdot 10^{-5}$ M и α, α' -дип $5,2 \cdot 10^{-5}$ M; Ni(II)-R-Фен – при концентрации R $8 \cdot 10^{-5}$ M и $4,8 \cdot 10^{-5}$ M Фен; комплекса Ni(II)-R-Б-фен – при концентрации R $8 \cdot 10^{-5}$ M и Б-фен $4 \cdot 10^{-5}$ M. Все комплексы образуются сразу после смешивания растворов компонентов и различаются устойчивостью. Установлено соотношение реагирующих компонентов в составе однородно- (1:2) и смешанолигандных (1:2:1) соединений. Определен интервал подчинения закону Бера. Определены коэффициенты уравнения градуировочного графика по методу наименьших квадратов. При комплексообразовании никеля(II) зависимость $A = f(c)$ выражается линейными уравнениями. Вычислены константы устойчивости однородно- (Ni(II)-R) и смешанолигандных (Ni(II)-R- α, α' -дип, Ni(II)-R-Фен и Ni(II)-R-Б-фен) комплексов. При оптимальных условиях комплексообразования Ni(II)-R титровали раствором третьих компонентов (α, α' -дип, Фен и Б-фен) кондуктометрическим методом. Изучено влияние посторонних ионов на комплексообразование никеля(II) с R в присутствии и в присутствии третьих компонентов. Установлено, что в присутствии третьих компонентов избирательность реакций комплексообразования значительно увеличивается. Данные реагенты избирательнее для спектрофотометрического определения никеля(II) по сравнению с реагентами, известными из литературы. Разработанная методика применена для определения никеля(II) в трех сортах яблок.

Ключевые слова: никель(II), азосоединения, разнолигандный комплекс, α, α' -дипиридил, фенантролин, батофенантролин

Информация о статье: Дата поступления 19 июля 2019 г.; дата принятия к печати 29 мая 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 июня 2020 г.

Для цитирования: Марданова В.И., Тахирли Ш.А., Гаджиева С.Р., Чырагов Ф.М. Изучение комплексообразования никеля(II) с 1,3-дифенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо)проподионом-1,3 в присутствии третьих компонентов. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 2. С. 196–204. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-196-204>

Component complexation study of Ni(II) with 1,3-diphenyl-2-(2-hydroxy-4-nitrophenylhydrozo)propodion-1,3

Vusala I. Mardanova, Shalala A. Taxirli, Sevinjh R. Hajiyeva, Famil M. Chyrarov

* Baku State University, Baku, Azerbaijan

** Lankaran State University, Lankaran, Azerbaijan

Abstract: The effect of various components, including α, α' -dipyridyl (α, α' -dip), phenanthroline (Phen) and bathophenanthroline (B-phen), on the complexation of Ni(II) with 1,3-diphenyl-2-(2-hydroxy-4-

nitrophenylhydrozo)propodion-1,3 (R) was studied. Homogeneous (Ni(II)-R) and mixed-ligand (Ni(II)-R- α,α' -dip, Ni(II)-R-Phen and Ni(II)-R-B-phen) complex compounds are determined to form at pH = 6, 5.5 and 5, respectively. The yield of the Ni(II)-R complex is established to be maximal at R concentration of $8 \cdot 10^{-5}$ M; Ni(II)-R- α,α' -dip – at concentration R and α,α' -dip of $8 \cdot 10^{-5}$ and $5.2 \cdot 10^{-5}$ M, respectively; Ni(II)-R-Phen – at concentration R and Phen of $8 \cdot 10^{-5}$ and $4.8 \cdot 10^{-5}$ M, respectively; Ni(II)-R-B-phen – at concentration of R and B-phen $8 \cdot 10^{-5}$ and $4 \cdot 10^{-5}$ M, respectively. All complexes, which differ in stability, were determined to form immediately after mixing the solutions of the components. The ratio of reacting components in the composition of homogeneous (1:2) and mixed (1:2:1) ligand compounds is established in terms of conformity to Beer's law. The equation coefficients for the calibration curve were obtained by the method of least squares. In the complexation of nickel(II), the $A = f(c)$ dependence was shown to be expressed by linear equations. The stability constants of homogeneous (Ni(II)-R) and mixed-ligand (Ni(II)-R- α,α' -dip, Ni(II)-R-Phen and Ni(II)-R-B-phen) complexes were calculated. Under optimal complexation conditions, Ni(II)-R was titrated with a solution of the components, including α,α' -dip, Phen and B-phen, using the conductometric method. The effect of foreign ions on the complexation of nickel(II) with R both in the absence and presence of other components was studied. In the presence of other components, the selectivity of complexation reactions was established to increase significantly. These reagents were proved to be more selective for spectrophotometric determination of nickel(II) in comparison with reagents known from the literature. The developed technique was applied for nickel(II) determination in three varieties of apples.

Keywords: nickel(II), azo-compounds, mixed-ligand complex, α,α' -dipyridyl, phenanthroline, bathophenanthroline

Information about the article: Received July 19, 2019; accepted for publication May 29, 2020; available online June 30, 2020.

For citation: Mardanova Vİ, Taxirli SA, Hajiyeva SR, Ciraqov FM. Component complexation study of Ni(II) with 1,3-diphenyl-2-(2-hydroxy-4-nitrophenylhydrozo)propodion-1,3. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020;10(2):196–204. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-196-204>

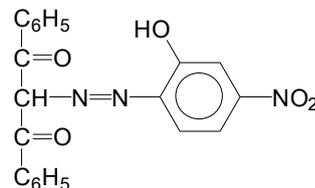
ВВЕДЕНИЕ

По сравнению с другими переходными металлами никель является умеренно токсичным элементом, однако, даже при низкой концентрации оказывает общее токсическое воздействие на организм человека, повышение его содержания вызывает заболевания дыхательных путей и легких, злокачественные опухоли и дерматические реакции. Предполагалось, что в некоторых количествах никель необходим растениям и животным [1–4]. Вредно попадание никеля в почву и сточные воды, откуда он по пищевой цепочке может оказаться в пищевых продуктах, употребляемых человеком. Этот факт объясняет важность мониторинга концентрации никеля в пищевых продуктах. Атомная абсорбционная спектрометрия пламенной и графитовой печи и спектрофотометрические методы обеспечивают точное и быстрое определение никеля в растениях и пищевых продуктах [5–14]. Однако очень часто прямое определение не может быть применено из-за низкой концентрации анализируемых веществ или матричных помех.

Авторами настоящей работы фотометрическим методом исследовано комплексообразование никеля(II) с 1,3-дифенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо)проподион-1,3 (R) в присутствии α,α' -дипиридила (α,α' -дип), фенантролина (Фен) и батофенантролина (Б-фен).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Реагент синтезирован по методике, представленной в работах [15, 16], его состав и строение установлены методами элементного анализа и ИК-спектроскопии:



В работе использовали $1 \cdot 10^{-3}$ М этанольный раствор реагента и водно-этанольные растворы (3:7) третьих компонентов, которые готовили растворением их точных навесок. Раствор иона никеля(II) готовили из $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ растворением точной навески в воде. Для создания необходимой кислотности использовали ацетатно-аммиачные буферные растворы. Все использованные реагенты имеют квалификацию не ниже ч.д.а.

Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре Lamda 40 (Perkin Elmer) и фотоколориметре КФК-2 в кювете с толщиной слоя 1 см. Кислотность буферных растворов измеряли на иономере РНС-25, настроенном стандартными буферными растворами. Удельную электропроводность растворов измеряли на кондуктометре КЭЛ-1М2.

ОБСУЖДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе эксперимента установлено, что R в этиловом спирте при pH = 6 имеет полосу поглощения с максимумом $\lambda = 425$ нм. В этих условиях он образует комплекс с никелем(II), максимум поглощения при 452 нм. Исследование полученного комплекса в присутствии α, α' -дипиридила, диантипирилметана и батофенантролина в широком интервале pH показало, что под влиянием третьего компонента образуются разнолигандные комплексы: Ni(II)-R- α, α' -дип с максимумом светопоглощения $\lambda = 468$ нм, Ni(II)-R-Фен – с $\lambda = 472$ нм, и Ni(II)-R-Б-фен – с $\lambda = 478$ нм. Окраска реагента

и комплексов зависит от pH среды, поэтому спектры поглощения при комплексообразовании изучали на фоне контрольного опыта R- α, α' -дип, R-Фен и R-Б-фен. Под влиянием третьих компонентов у всех образующихся смешанолигандных комплексов наблюдался bathochromный эффект (рис. 1).

Изучение зависимости оптической плотности от pH раствора показало, что при взаимодействии с α, α' -дипиридиллом, диантипирилметаном и батофенантролином оптимальные условия комплексообразования сдвигаются в кислую среду (pH = 5) для всех комплексов (рис. 2).

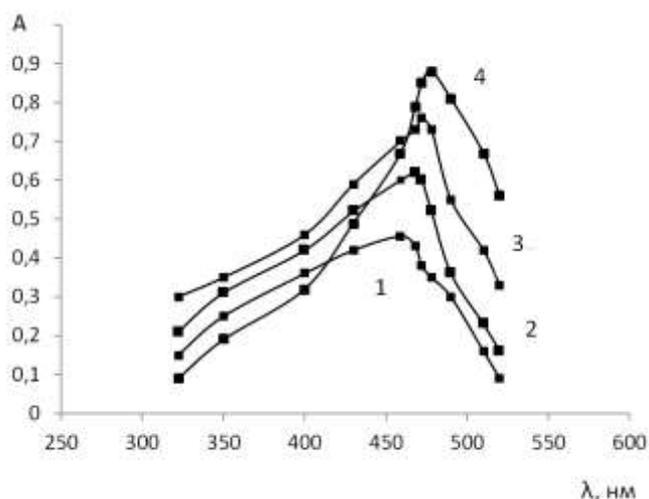


Рис. 1. Спектры поглощения растворов комплексов с никелем(II):
1 – Ni-R; 2 – Ni-R- α, α' -дип; 3 – Ni-R-Фен; 4 – Ni-R-Б-фен. $C_{Ni} = 4 \cdot 10^{-5} M$; $C_R = 1 \cdot 10^{-4} M$

Fig. 1. Absorbance spectrum of nickel(II) complexes
1 – Ni-R; 2 – Ni-R- α, α' -dip; 3 – Ni-R-Phen; 4 – Ni-R-B-phen. $C_{Ni} = 4 \cdot 10^{-5} M$; $C_R = 1 \cdot 10^{-4} M$

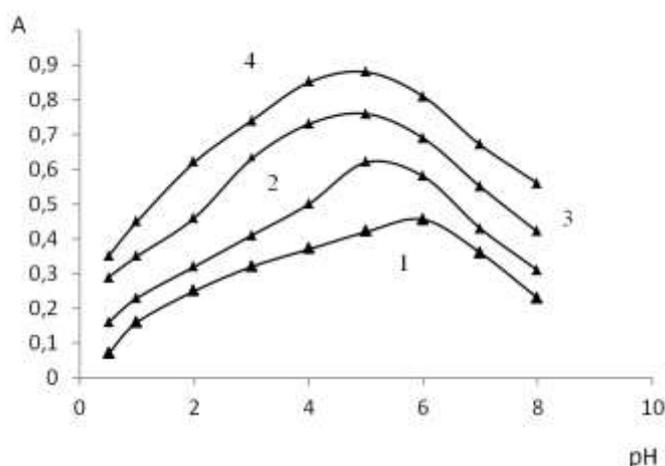


Рис. 2. Зависимость оптической плотности раствора комплексов никеля(II) от pH в присутствии и в отсутствие третьих компонентов при λ_{opt} на фоне контрольного опыта:
1 – Ni-R; 2 – Ni-R- α, α' -дип; 3 – Ni-R-Фен; 4 – Ni-R-Б-фен $C_{Ni} = 4 \cdot 10^{-5} M$; $C_R = 1 \cdot 10^{-4} M$

Fig. 2. Optical density of nickel(II) complexes solution versus pH in the presence and absence of third component at λ_{opt} on the background experiment:
1 – Ni-R; 2 – Ni-R- α, α' -dip; 3 – Ni-R-Phen; 4 – Ni-R-B-phen $C_{Ni} = 4 \cdot 10^{-5} M$; $C_R = 1 \cdot 10^{-4} M$

В целях выбора оптимальных условий изучено влияние концентрации реагирующих веществ, температуры и времени на образование бинарного и разнолигандного комплексов. Максимальный выход комплексов получен: Ni(II)-R – при концентрации компонента R $8 \cdot 10^{-5}$ М; комплекса Ni(II)-R- α, α' -дип – при концентрации компонентов $8 \cdot 10^{-5}$ и $5,2 \cdot 10^{-5}$ соответственно; комплекса Ni(II)-R-Фен – при концентрации компонентов $8 \cdot 10^{-5}$ и $4,8 \cdot 10^{-5}$ соответственно; комплекса Ni(II)-R-Б-фен – при концентрации компонентов $8 \cdot 10^{-5}$ и $4 \cdot 10^{-5}$ М соответственно. Все комплексы образуются сразу после смешивания растворов компонентов и различаются устойчивостью.

Константы устойчивости и соотношения компонентов в составе образующихся комплексов установлены методами изомолярных серий, относительного выхода Старика – Барбанеля и сдвига равновесия¹.

Метод Старика – Барбанеля позволяет точно оценить стехиометрические коэффициенты и может быть применен к любой стехиометрической реакции независимо от устойчивости концентрации взаимодействующих веществ [17, 18].

Исследование показало, что соотношение компонентов в комплексе Ni(II)-R составляет 1:2, в разнолигандных комплексах – 1:2:1.

Молярные коэффициенты светопоглощения, интервал линейности градуировочного графика для определения никеля(II), а также другие аналитические характеристики реагентов приведены в табл. 1.

Определены коэффициенты уравнения градуировочного графика по методу наименьших квадратов [19]. При комплексообразовании никеля(II) зависимость $A = f(c)$ выражается следующими линейными уравнениями:

- $A = (0,19 \pm 0,02)c + (4,8 \pm 0,12)10^{-2}$ – для Ni(II)-R;
- $A = (0,24 \pm 0,01)c + (3,2 \pm 0,10)10^{-2}$ – для Ni(II)-R- α, α' -дип;
- $A = (0,27 \pm 0,02)c + (6,9 \pm 0,09)10^{-2}$ – для Ni(II)-R-Фен;
- $A = (0,37 \pm 0,01)c + (7,2 \pm 0,08)10^{-2}$ – для Ni(II)-R-Б-фен.

Как видно, с возрастанием угла наклона (а) линейных уравнений увеличиваются молярные коэффициенты поглощения комплексов.

При оптимальных условиях комплексообразования Ni(II)-R титровали раствором третьих компонентов (α, α' -дип, Фен, и Б-фен) кондуктометрическим методом [20] (табл. 2).

Таблица 1
Table 1

Спектрофотометрические характеристики комплексов никеля(II)
Main characteristics of nickel(II) complexes

Комплекс	pH	λ_{\max} , нм	$\Delta\lambda$, нм	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$, л/моль·см	Me:R	Подчинение закону Бера, мкг/мл	$\lg\beta$
Ni(II)-R	6	452	27	0,875±0,04	1:2	0,46–2,32	8,24±0,04
Ni(II)-R- α, α' -дип	5	468	43	1,550±0,03	1:2:1	0,13–2,32	10,09±0,06
Ni(II)-R-Фен	5	472	47	1,900±0,02	1:2:1	0,11–2,32	10,84±0,06
Ni(II)-R-Б-фен	5	478	53	2,200±0,03	1:2:1	0,11–2,78	11,22±0,04

Таблица 2
Table 2

Результаты кондуктометрического титрования раствора Ni-R растворами третьих компонентов (α, α' -дип, Фен, и Б-фен ($m \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$))

Table 2

Result of the conductometric titration of the Ni-R solution with solution of third component (α, α' -dip, Phen, and B-phen ($m \cdot 10^4 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$))

Комплекс	V_{Ni} , мл									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
R	1,80	1,77	1,75	1,73	1,72	1,70	1,69	1,68	1,68	1,68
R- α, α' -дип	1,76	1,73	1,70	1,69	1,68	1,65	1,63	1,62	1,62	1,62
R-Фен	1,70	1,64	1,58	1,50	1,45	1,40	1,38	1,38	1,38	1,38
R-Б-фен	1,62	1,58	1,50	1,45	1,40	1,35	1,33	1,32	1,32	1,32

¹ Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методом анализа. 5-е изд., стер. М.: «Книга по требованию», 2013. 432 с.

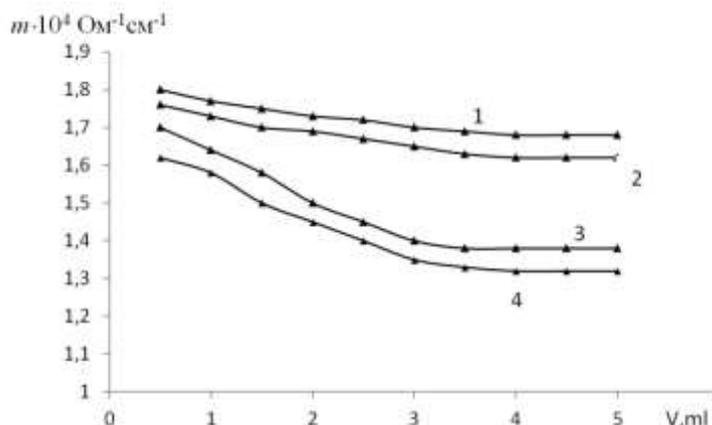


Рис. 3. Зависимость удельной электропроводности от объема титранта:
 1 – Ni(II)-R; 2 – Ni(II)-R-α,α'-дип; 3 – Ni(II)-R-Фен; 4 – Ni(II)-R-Б-фен

Fig. 3. Conductivity versus titrant volume:
 1 – Ni(II)-R, 2 – Ni(II)-R-α,α'-dip, 3 – Ni(II)-R-Phen, 4 – Ni(II)-R-B-phen

Результаты показывают, что чем меньше удельная электропроводность, тем больше устойчивость комплексов. Был построен график зависимости удельной электропроводности от объема титранта для Ni(II)-R, Ni(II)-R-α,α'-дип, Ni(II)-R-Фен и Ni(II)-R-Б-фен (рис. 3).

Изучено влияние посторонних ионов на комплексообразование никеля(II) с R в отсут-

ствии и в присутствии третьих компонентов. Установлено, что в присутствии третьих компонентов избирательность реакций комплексообразования значительно увеличивается (табл. 3): данные реагенты избирательнее для спектрофотометрического определения никеля(II) по сравнению с реагентами, известными из литературы [14].

Таблица 3

Допустимые соотношения посторонних ионов к никелю(II) при его определении в виде однородно- и смешаннолигандных комплексов (погрешность 5 %)

Table 3

Foreign ions and nickel(II) valid ratios at determination of nickel(II) in the form of mono- and mixed-ligand complexes (error 5 %)

Посторонние ионы	R	R-α,α'-дип	R-Фен	R-Б-фен	2-[(2-меркаптофенил-имино)метил]фенол [1]
Na(I)	*	*	*	*	300
K(I)	*	*	*	*	300
Mg(II)	124	414	248	414	250
Ca(II)	207	414	670	670	250
Ba(II)	472	472	236	472	–
Zn(II)	11	224	12	224	300
Cd(II)	215	215	215	366	50
Co(II)	61	464	215	464	20
Cu(II)	**	22	110	110	20
Mn(II)	28	940	190	940	200
Al(III)	5	9	47	47	250
Fe(III)	10	93	193	193	20
Cr(III)	179	258	258	258	20
Pb(II)	71	71	71	142	–
V(V)	88	88	176	572	–
W(VI)	197	952	634	952	–
Mo(VI)	331	828	372	828	–
F ⁻	319	6379	1276	6379	–
C ₂ O ₄ ²⁻	22	43	217	217	–
HPO ₄ ²⁻	617	1234	617	1234	300
Лимонная кислота	116	231	462	462	–
Винная кислота	517	2506	2506	2506	–
Тиомочевина	13	66	262	262	–

Примечание. * – не мешает; ** – мешает.

Разработанная методика применена для определения никеля(II) в трех сортах яблок.

Методика анализа. Навеску образца фруктов массой 200 г после высушивания помещали в графитовую чашку, сжигали в муфельной печи при 550–750 °С до полного разложения органических веществ. Полученную золу растворяли в смеси 15 мл HCl и 5 мл HNO₃ в чашке из стеклоуглерода и трижды обрабатывали 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 1·10⁻³ М раствора реагента, 1 мл 10⁻² М раствора батофенантролина, доводили объем до метки аммиачно-ацетатным буферным рас-

твором pH = 5. 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 никеля в анализируемых сортах яблок находили по предварительно построенному градуировочному графику. Полученные результаты представлены в табл. 4 и сопоставлены с данными анализа атомно-абсорбционного метода (ААС).

Как видно из данных, представленных в табл. 4, результаты предлагаемой методики и ААС хорошо согласуются между собой. Таким образом, предлагаемая методика определения никеля(II) с 1,3-дифенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо) проподион-1,3 в присутствии батофенантролина проста, экспрессна и дает надежные результаты.

Таблица 4

Результаты определения никеля(II) во фруктах (n=5, P=0,95)

Table 4

Results of nickel(II) definition in fruits (n = 5, P = 0.95)

Сорт яблок	Найдено Ni, % мас.	
	R + батофенантролин	ААС
Палмет	(8,30±0,04)·10 ⁻³	(8,42±0,06) 10 ⁻³
Симиренко	(8,15±0,06) 10 ⁻³	(8,03±0,07) 10 ⁻³
Фуджи	(8,00±0,06) 10 ⁻³	(7,89±0,05) 10 ⁻³

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для определения никеля спектрофотометрическим методом использовано азопроизводное β-дикетон в присутствии третьих компонентов. Структура реагента изучена методом ЯМР- и ИК-спектроскопии, а чистота проверена бумажной хроматографией.

Комплексные соединения никеля с реагентом в присутствии третьих компонентов исследованы спектрофотометрическим методом, определены оптимальные условия комплексообразования и характеристики комплексов (pH_{опт}, λ_{опт}, молярные коэффициенты поглощения, состав комплексов, интервал подчинения закону Бера, константы устойчивости). Определено, что в присутствии третьего компонента некоторые аналитические параметры реак-

ции увеличиваются. Методом наименьших квадратов определены коэффициенты в уравнениях градуировочных графиков.

При оптимальных условиях комплексообразования Ni(II)-R титровали раствором третьих компонентов (α,α'-дип, Фен, и Б-фен) кондуктометрическим методом. Результаты показали, что чем меньше удельная электропроводность, тем выше устойчивость комплексов.

Изучено влияние посторонних ионов и маскирующих веществ на реакции комплексообразования. Установлено, что реакции с модифицированными формами реагентов характеризуются более высокой избирательностью. Разработаны высокоточные воспроизводимые методики определения никеля в трех сортах яблок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shabani H.A., Dadfarnia S., Shahbaazi Z., Jafari A.A. Extraction-spectrophotometric determination of nickel at microgram level in water and wastewater using 2-[(2-mercaptophenylimino)methyl]phenol // Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia. 2008. Vol. 22. Issue 3. P. 323–329. <https://doi.org/10.4314/bcse.v22i3.61196>
2. Kumar K.S., Swaroop B.L., Rao S.P., Chiranjeevi P. Spectrophotometric determination of nickel using a new chromogenic reagent in plant

leaves // International Journal of Environmental Studies. 2004. Vol. 61. Issue 6. P. 719–726. <https://doi.org/10.1080/00207230410001688143>

3. Sarma L.S., Kumar J.R., Reddy K.J., Thriveni T., Reddy A.V. Development of highly sensitive extractive spectrophotometric determination of nickel(II) in medicinal leaves, soil, industrial effluents and standard alloy samples using pyridoxal-4-phenyl-3-thiosemicarbazone // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2008. Vol. 22. Issue 4. P. 285–295. <https://doi.org/10.10>

16/j.jtemb.2008.06.003

4. Марданова В.И., Тахирли Ш.А., Чырагов Ф.М. Изучение комплексообразования никеля(II) с 1-фенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо) бутадио-1,3 в присутствии третьих компонентов // East European Scientific Journal. 2018. Vol. 10. Issue 38. P. 63–67.

5. Li Z., Pan J., Tang J. Determination of nickel in food by spectrophotometry with o-carboxylbenzenediazoaminoazobenzene // Analytical Letters. 2002. Vol. 35. Issue 1. P. 671–183. <https://doi.org/10.1081/AL-120002369>

6. Марданова В.И., Тахирли Ш.А., Бабаев А.Г., Чырагов Ф.М. Изучение комплексообразования никеля(II) с 1-фенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидрозо) бутадио-ном-1,3 в присутствии третьих компонентов // Химические проблемы. 2019. N 2. P. 316–322. <https://doi.org/10.32737/2221-8688-2019-2-316-322>

7. Hu Q., Yang G., Huang Z., Yin J. Determination of nickel with 2-(2-quinolylazo)-5-diethylaminoaniline as a chromogenic reagent // Analytical Sciences 2003. Vol. 19. Issue 10. P. 1449–1452. <https://doi.org/10.2116/analsci.19.1449>

8. Kumar B.N., Kanchi S., Sabela M.I., Bissetty K., Jyothi N.V.V. Spectrophotometric determination of nickel (II) in waters and soils: novel chelating agents and their biological applications supported by DFT method // Karbala International Journal of Modern Science. 2016. Vol. 2. Issue 4. P. 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2016.08.003>

9. Alieva R.A., Melikova V.I., Chyragov F.M. Pyrogallol azo derivatives as analytical reagents for determining nickel(II) // Journal of Analytical Chemistry. 2007. Vol. 62. Issue 6. P. 526–529. <https://doi.org/10.1134/S1061934807060056>

10. Bai K.A., Vallinath G.V.S., Chandrasekhar K.B., Devanna N. Derivative spectrophotometric determination of nickel(II) using 3,5-dimethoxy-4-hydroxy benzaldehyde isonicotinoyl hydrazine (DMNBH) // Rasayan Journal of Chemistry. 2010. Vol. 3. Issue 3. P. 467–472.

11. Barman B., Barua S. Spectrophotometric determination of nickel(II) by using bis-[2,6-(2'-

hydroxy-4'-sulpho-l'-naphthylazo)] pyridine disodium salt // Asian Journal of Chemistry. 2009. Vol. 21. Issue 7. P. 5469–5474.

12. Li X.-D., Zhai Q.-Z. Spectrophotometric determination of nickel with chlorophosphonazo-III // Chemical Science Transactions. 2014. Vol. 3. Issue 3. P. 1023–1026. <https://doi.org/10.7598/ost.2014.803>

13. Ranganath B., Basha V.S., Jayapal M.R., Ramana P.V. Direct Spectrophotometric determination of Ni(II) using esomeprazole // International Journal of Pharmacy and Chemistry. 2015. Vol. 1. Issue 1. P. 7–11. <https://doi.org/10.11648/j.ijpc.20150101.12>

14. Macit M., Bati H., Bati B. Synthesis of 4-benzyl-1-piperazineglyoxime and its use in the spectrophotometric determination of nickel // Turkish Journal of Chemistry. 2000. Vol. 24. Issue 1. P. 481–88.

15. Проблемы химии и применения β-дикетонатов металлов / под. ред. В.И. Спицына. М.: Наука, 1982. 264 с.

16. Бусев А.И. Синтез новых органических реагентов для неорганического анализа. М.: Изд-во МГУ, 1972. 245 с.

17. 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. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-42-50>

18. Залов А.З. Экстракционно-фотометрическое определение марганца(II) о-гидрокситиофенолом и аминифенолами // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия. 2015. Т. 2. N 1. С. 61–71.

19. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. 4-е изд. Л.: Хим. лит., 1971. 638 с.

20. Худякова Т.А., Крешков А.П. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа. М.: Химия. 1976. 304 с.

REFERENCES

1. Shabani HA, Dadfarnia S, Shahbaazi Z, Jafari AA. Extraction-spectrophotometric determination of nickel at microgram level in water and wastewater using 2-[(2-mercaptophenyl-imino)methyl]phenol. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*. 2008;22(3):323–329. <https://doi.org/10.4314/bcse.v22i3.61196>

2. Kumar KS, Swaroop BL, Rao SP, Chiranjeevi P. Spectrophotometric determination of nickel using a new chromogenic reagent in plant leaves. *International Journal of Environmental Studies*. 2004;61(6):719–726. <https://doi.org/10.1080/00207230410001688143>

80/00207230410001688143

3. Sarma LS, Kumar JR, Reddy KJ, Thriveni T, Reddy AV. Development of highly sensitive extractive spectrophotometric determination of nickel(II) in medicinal leaves, soil, industrial effluents and standard alloy samples using pyridoxal-4-phenyl-3-thiosemicarbazone. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2008;22(4):285–295. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2008.06.003>

4. Mardanova VI, Taxirli ShA, Ciraqov FM. Studying the complex formation of nickel (II) with 1-phenyl-2-(2-hydroxy-4-nitrophenylhydrozo) buta-

dio-1,3 in the presence of third components. *East European Scientific Journal*. 2018;10(3):63–67.

5. Li Z, Pan J, Tang J. Determination of nickel in food by spectrophotometry with o-Carboxylbenzenediazoaminoazobenzene. *Analytical Letters*. 2002;35(1):671–183. <https://doi.org/10.1081/AL-120002369>

6. Mardanova VI, Tahirli ShA, Babaev AQ, Chiragov FM. Studying of the complex formation of nickel (II) with 1-phenyl-2-(2-hydroxy nitrophenylhydroso) butanedione-1,3 in the presence of third components. *Chemical Problems*. 2019;2:316–322. <https://doi.org/10.32737/2221-8688-2019-2-316-322>

7. Hu Q, Yang G, Huang Z, Yin J. Determination of nickel with 2-(2-quinolyazo)-5-diethylaminoaniline as a chromogenic reagent. *Analytical Sciences*. 2003;19(10):1449–1452. <https://doi.org/10.2116/analsci.19.1449>

8. Kumar BN, Kanchi S., Sabela MI, Bisetty K, Jyothi NVV. Spectrophotometric determination of nickel (II) in waters and soils: novel chelating agents and their biological applications supported by DFT method. *Karbala International Journal of Modern Science*. 2016;2(4):239–250. <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2016.08.003>

9. Alieva RA, Melikova VI, Chyragov FM. Pyrogallol azo derivatives as analytical reagents for determining nickel (II). *Journal of Analytical Chemistry*. 2007;62(6):526–529. <https://doi.org/10.1134/S1061934807060056>

10. Bai KA, Vallinath GVS, Chandrasekhar KB, Devanna N. Derivative spectrophotometric determination of nickel(II) using 3,5-dimethoxy-4-hydroxy benzaldehyde isonicotinoyl hydrazine (DMHBH). *Rasayan Journal of Chemistry*. 2010;3(3):467–472.

11. Barman B, Barua S. Spectrophotometric determination of nickel(II) by using bis-[2,6-(2'-hydroxy-4'-sulpho-l'-naphthylazo)]pyridine disodium salt. *Asian Journal of Chemistry*. 2009;21(7):5469–5474.

12. Li X-D, Zhai Q-Z. Spectrophotometric determination of nickel with chlorophosphonazo-III. *Chemical Science Transactions*. 2014;3(3):1023–1026. <https://doi.org/10.7598/ost2014.803>

13. Ranganath B, Basha VS, Jayapal MR, Ramana PV. Direct Spectrophotometric determination of Ni(II) using esomeprazole. *International Journal of Pharmacy and Chemistry*. 2015;1(1):7–11. <https://doi.org/10.11648/j.ijpc.20150101.12>

14. Macit M, Bati H, Bati B. Synthesis of 4-benzyl-1-piperazineglyoxime and its use in the spectrophotometric determination of nickel. *Turkish Journal of Chemistry*. 2000;24(1):481–88.

15. Spitsyn VI. (ed.) *Problems of chemistry and the use of metal β -diketonates*. Moscow: Nauka; 1982. 264 p. (In Russian)

16. Busev AI. *Synthesis of new organic reagents for inorganic analysis*. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta; 1972. 245 p. (In Russian)

17. Aliyeva RA, Ayvazova AV, Espandi FE, Chiragov FM. 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;8(1):42–50. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-42-50>

18. Zalov AZ. Extraction-photometric determination of manganese(II) with o-hydroxythiophenol derivatives and aminophenols. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta = Vestnik of Saint Petersburg university. Physics and Chemistry*. 2015;2(1):61–71. (In Russian)

19. Batuner LM, Pozin ME. *Mathematical methods in chemical engineering*. Leningrad: Izdatel'stvo khimicheskoi literatury; 1971. 638 p. (In Russian)

20. Khudyakova TA, Kreshkov AP. *Theory and practice of conductometric and chronoconductometric analysis*. Moscow: Khimiya; 1976. 304 p. (In Russian)

Критерии авторства

Марданова В.И., Тахирли Ш.А., Гаджиева С.Р., Чырагов Ф.М. выполнили экспериментальную работу. Авторы совместно обобщили результаты, написали рукопись, имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contribution

Vusala I. Mardanova, Shalala A. Taxirli, Sevinjh R. Hajiyeva, Famil M. Chyragov carried out the experimental work. The authors on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. All authors have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict interests

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

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Марданова Вусала Исмаил,
к.х.н., научный сотрудник,
Бакинский государственный университет,
Az1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,
Азербайджан,
e-mail: vusala_chem@mail.ru

Vusala I. Mardanova,
Cand. Sci. (Chemistry), Reseacher,
Baku State University,
23, Z. Khalilov St., Baku, Az1148, Azerbaijan,
e-mail: vusala_chem@mail.ru

Тахирли Шалала Абид,
аспирант,
Ленкоранский государственный университет,
Az4200, г. Ленкорань, пр-т Ази Асланова, 50,
Азербайджан,
e-mail: Taxirli87@mail.ru

Shalala A. Taxirli,
Postgraduate Student,
Lankaran State University,
50, A. Aslanov Ave., Lankaran, Az4200,
Azerbaijan,
e-mail: Taxirli87@mail.ru

Гаджиева Севиндж Рафик,
д.х.н., профессор, заведующая кафедрой
экологической химии,
Бакинский государственный университет,
Az1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,
Азербайджан,
e-mail: fidan_chem@rambler.ru

Sevinjh R. Hajiyeva,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Head of the Department of Ecological Chemistry,
Baku State University,
23, Z. Khalilov St., Baku, Az1148, Azerbaijan,
e-mail: fidan_chem@rambler.ru

Чырагов Фамиль Муса,
д.х.н., профессор, заведующий кафедрой
аналитической химии,
Бакинский государственный университет,
Az1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,
Азербайджан,
e-mail: fidan_chem@rambler.ru

Famil M. Chyragov,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Head
of the Analytical Chemistry Department
Baku State University,
23, Z. Khalilov St., Baku, Az1148,
Azerbaijan,
e-mail: fidan_chem@rambler.ru