

Научная статья

УДК 543.552.054.1

doi: 10.17223/24135542/28/1

Новая высокоселективная и чувствительная экстракционно-фотометрическая методика определения никеля

Али Зал оглы Залов¹, Керим Аваз оглы Кулиев²,
Низами Алисахиб оглы Акберов³, Зохра Гулу кызы Аскерова⁴

^{1, 2, 3, 4} Азербайджанский государственный педагогический университет,

Баку, Азербайджан

¹ Zalov1966@mail.ru

² kerim.kuliev.69@mail.ru

³ adpu-kimya@mail.ru

⁴ Phd.zohra@gmail.com

Аннотация. Экстракционно-фотометрическим методом изучено взаимодействие никеля с азомеркаптофенолами (АМФ, H₂L) {1-(2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ПГМФ), 1-(5-хлор-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ХПГМФ), 1-(5-бром-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (БПГМФ), 1-(5-иод-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ИПГМФ)} в присутствии аминифенолов (АФ): 2-(N,N-диметиламинометил)-4-метилфенола (АФ₁), 2-(N,N-диметиламинометил)-4-хлорфенола (АФ₂). Синтезированные соединения (ПГМФ, ХПГМФ) охарактеризованы методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.

АМФ – кристаллические вещества желто-зеленого цвета, плохо растворимые в воде, кислотах, частично растворимые в щелочах, ацетоне, хорошо растворимые в хлороформе. В зависимости от кислотности среды АМФ могут существовать в виде трех форм: H₂R, HR⁻, HR²⁻. АМФ и его производные образуют с никелем окрашенные комплексы, нерастворимые в неполярных органических растворителях. Заряд комплексов установлен методом электромиграции ионов и методом электрофореза. Окрашенные комплексы являются анионами. При введении в систему аминов наблюдается переход анионных комплексов в органическую фазу в виде разнолигандного комплекса (РЛК).

Наилучшими экстрагентами оказались хлороформ, дихлорэтан и четыреххлористый углерод. При однократной экстракции хлороформом извлекается 97,1–98,9% никеля(II) в виде РЛК. Оптимальный интервал кислотности, при котором оптическая плотность максимальна и постоянна, рН_{оп} 2,4–6,5 (рН_{об} 0,7–8,4). РЛК Ni(II) с АМФ и АФ устойчивы в водных и органических растворителях и не разлагаются в течение трех суток, а после экстракции – больше месяца. Максимальная оптическая плотность достигается в течение 8–12 мин. Оптимальным условием образования и экстракции этих соединений является (1,12–2,34) × 10⁻³ моль/л концентрация АМФ и (6,3–8,4) × 10⁻⁴ моль/л – АФ. Увеличение водной фазы в 20 раз по отношению к органической не оказывает влияния на полноту извлечения.

Максимальный аналитический сигнал при комплексообразовании никеля с АМФ и АФ заметен при 605–648 нм. АМФ максимально поглощают при 515–530 нм. При комплексообразовании наблюдается bathochromное смещение максимума

светопоглощения на 110–118 нм. Стехиометрию исследуемых комплексов устанавливали методами сдвига равновесия и относительного выхода. В составе РЛК на 1 моль никеля приходится по 2 моль АМФ и АФ. Методом Назаренко было установлено, что комплексообразующей формой никеля является Ni^{2+} . При этом число протонов, вытесняемых им из одной молекулы H_2L , оказалось равным 2.

Произведенные расчеты показали, что РЛК в органической фазе не полимеризуются и находятся в мономерной форме ($\gamma = 0,94-1,07$).

Термогравиметрическое исследование комплекса $[Ni(ПГМФ)_2](АФ_2)_2$ показало, что его термическое разложение протекает в три стадии: при 60–120°C улетучивается вода (потеря массы 2,14%), при 340–390°C разлагается АФ (потеря массы 38,48%), а при 490–510°C – ПГМФ (потеря массы 59,45%). Конечный продукт термолитического разложения комплекса – NiO.

Экстракты РЛК Ni(II) подчиняются основному закону светопоглощения при концентрациях 0,5–18 мкг/мл.

Определению Ni(II) с АМФ и АФ не мешают ионы щелочных, щелочноземельных элементов и РЗЭ. Мешающее влияние ионов устранено изменением pH среды с помощью маскирующих веществ и применения экстракции. Сравнение аналитических возможностей исследованных реагентов и гидрофобных аминов показывает, что контрастность и чувствительность реакции уменьшаются в ряду ХПГМФ–БПГМФ–ИПГМФ–ПГМФ.

Результаты исследований образования и экстракции РЛК Ni(II) с АМФ и АФ, физико-химические и аналитические характеристики этих соединений послужили основой для разработки новых методик экстракционно-фотометрического определения Ni(II) в различных природных материалах.

Ключевые слова: спектрофотометрический метод, азомеркаптофенол, аминофенол, экстрагент, аналитический сигнал, комплексообразование

Для цитирования: Залов А.З., Кулиев К.А., Акберов Н.А., Аскерова З.Г. Новая высокоселективная и чувствительная экстракционно-фотометрическая методика определения никеля // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2022. № 28. С. 6–21. doi: 10.17223/24135542/28/1

Original article

doi: 10.17223/24135542/28/1

New highly selective and sensitive extraction-photometric method for the determination of nickel

**Ali Z. Zalov¹, Kerim A. Kuliev²,
Nizami A. Akberov³, Zohra G. Askerova⁴**

^{1, 2, 3, 4} *Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*

¹ *Zalov1966@mail.ru*

² *kerim.kuliev.69@mail.ru*

³ *adpu-kimya@mail.ru*

⁴ *Phd.zohra@gmail.com*

Abstract. The interaction of nickel with azomercaptophenols (AMP, H_2L) {1-(2-pyridylazo)-2-hydroxy-4-mercaptophenol (PHMP), 1-(5-chloro-2-pyridylazo)-2-hydroxy-4-mercaptophenol (CHPMP), 1-(5-bromo-2-pyridyl-azo)-2-hydroxy-4-mercaptophenol (BPGMF), 1-(5-iodo-2-pyridylazo)-2-hydroxy-4-mercaptophenol (IPGMP)}

in the presence of aminophenols (AF): 2-(N,N-dimethylaminomethyl)-4-methylphenol (AF₁), 2-(N,N-dimethylaminomethyl)-4-chlorophenol (AF₂).

The synthesized compounds (PHMP, HPMP) were characterized by IR and NMR spectroscopy. AMP – yellow-green crystalline substances, poorly soluble in water, in acids, partially soluble in alkalis, acetone, well soluble in chloroform. Depending on the acidity of the medium, AMP can exist in the form of three forms: H₂R, HR⁻, HR²⁻.

AMP and its derivatives form colored complexes with nickel, which are in soluble in nonpolar organic solvents. The charge of the complexes was established by the method of electro-migration of ions and by the method of electrophoresis. Colored complexes are anions. When amines are introduced into the system, the transition of anionic complexes to the organic phase in the form of a mixed ligand complex (RLC) is observed.

The best extractants were chloroform, dichloroethane and carbon tetrachloride. A single extraction with chloroform yields 97.1–98.9% nickel(II) in the form of RLA. The optimal range of acidity, at which the optical density is maximum and constant, is at pH_{opt.} 2.4–6.5 (pNob. 0.7–8.4). RLC Ni(II) with AMP and AF are stable in aqueous and organic solvents and do not decompose for three days, and after extraction for more than a month. The maximum optical density is reached within 8–12 minutes. The optimal condition for the formation and extraction of these compounds is $(1.12–2.34) \times 10^{-3}$ mol/l concentration of AMP and $(6.3–8.4) \times 10^{-4}$ mol/l - AF. An increase in the aqueous phase by 20 times relative to the organic phase does not affect the completeness of the extraction.

The maximum analytical signal during the complex formation of nickel with AMP and AF is noticeable at 605–648 nm. AMP is maximally absorbed at 515–530 nm. During complex formation, a bathochromic shift of the light absorption maximum by 110–118 nm is observed. The stoichiometry of the studied complexes was established by the methods of equilibrium shift and relative yield. In the composition of RLC, 1 mole of nickel accounts for 2 moles of AMP and AF. It was established by the Nazarenko method that the complexing form of nickel is Ni²⁺. In this case, the number of protons displaced by it from one H₂L molecule turned out to be equal to 2.

The performed calculations showed that the RLC in the organic phase do not polymerize and are in the monomeric form ($\gamma=0.94–1.07$).

A thermogravimetric study of the [Ni(PHMP)₂](AP₂)₂ complex showed that its thermal decomposition proceeds in three stages: at 60–120°C water escapes (mass loss – 2.14%), at 340–390°C decomposes AP (mass loss 38.48%), and at 490–510°C, PHMP decomposes (mass loss 59.45%). The end product of the thermolysis of the complex is NiO.

RLC Ni(II) extracts obey the basic law of light absorption at concentrations of 0.5–18 µg/mL.

The determination of Ni(II) with AMP and AF is not interfered with by ions of alkaline, alkaline earth elements and REE. The interfering effect of ions is eliminated by changing the pH of the medium, using masking agents and using extraction. Comparison of the analytical capabilities of the studied reagents and hydrophobic amines shows that the contrast and sensitivity of the reaction decreases in the series CPGMP – BPGMP – IPPGMP – PHMP.

The results of studies on the formation and extraction of RLA Ni(II) with AMP and AF, the physicochemical and analytical characteristics of these compounds served as the basis for the development of new methods for the extraction-photometric determination of Ni(II) in various natural materials.

Keywords: spectrophotometric method, azomercaptophenol, aminophenol, extractant, analytical signal, complexation

For citation: Zalov, A.Z., Kuliev, K.A., Akberov, N.A., Askerova, Z.G. New highly selective and sensitive extraction-photometric method for the determination of nickel.

Введение

Никель является одним из распространенных компонентов, постоянно присутствующих в природных водах. В воду никель может попадать из почв, а также в результате разложения растительных и животных организмов, присутствующих в водоемах. В сине-зеленых водорослях обнаружено повышенное (по сравнению с другими типами водорослей) содержание никеля. Соединения никеля выносятся в водоемы со сточными водами цехов никелирования, заводов синтетического каучука, никелевых обогатительных фабрик. В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах концентрация никеля колеблется обычно от 0,8 до 10 мкг/л, в загрязненных она составляет несколько десятков микрограммов в литре.

Соединения никеля играют важную роль в кровяных процессах, являются окислительными катализаторами, находясь в виде металлоорганических комплексов в организме животного и человека. Повышенное содержание никеля оказывает специфическое воздействие на эндотелий сосудов (в особенности мозга и надпочечников), где возникают множественные кровоизлияния. Содержание никеля в воде лимитируется по общесанитарному показателю – до 0,1 мг/л [1].

В производственных и сточных водах многих промышленных предприятий содержатся высокие концентрации тяжелых и цветных металлов, в том числе никеля(II), поэтому определение содержания никеля в производственных водах является актуальной проблемой.

Для фотометрического определения никеля пригодны многие хелатообразующие реагенты, относящиеся к разным классам соединений и содержащие в качестве донорных атомов N, O или S [2]. Из этих реагентов наибольшее значение имеют диоксими, прежде всего диметилглиоксим. Особенность взаимодействия никеля с диметилглиоксимом – образование нескольких окрашенных соединений [3], состав и свойства которых зависят от состава среды, присутствия или отсутствия окислителей и, что очень важно, от порядка смешивания реактивов [4]. Все эти факторы влияют на протекание реакции, на воспроизводимость и в конечном счете на результаты количественного определения никеля(II).

Никель можно определять при помощи тио- и дитиосоединений [2, 5–7]. Высокочувствительными хелатообразующими реагентами на никель являются некоторые оксиазосоединения. Придилазорезорцин образует с никелем при pH 8,6–10 растворимый в воде красный хелат.

Настоящая работа посвящена спектрофотометрическому изучению взаимодействия никеля с азомеркаптофенолом (АМФ, H₂L) {1-(2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ПГМФ), 1-(5-хлор-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ХПГМФ), 1-(5-бром-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (БПГМФ), 1-(5-иод-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол

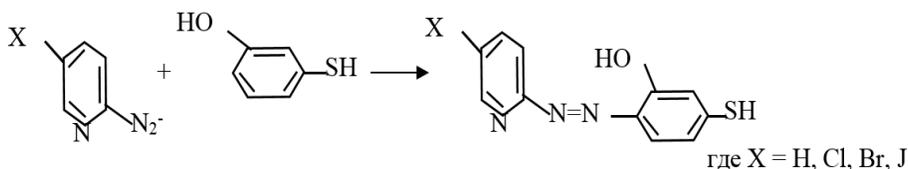
(ИПГМФ)} в присутствии аминофенолов (АФ): 2-(N,N-диметиламинометил)-4-метилфенола (АФ₁), 2-(N,N-диметиламинометил)-4-хлорфенола (АФ₂).

Реагенты и растворы. Для приготовления исходного раствора (1 мг/мл) никеля 6,73 г (NH₄)₂Ni(SO₄)₂·6H₂O растворяли в воде, прибавляли 2 мл конц. H₂SO₄ и разбавляли в мерной колбе водой до 1 л [8]. Растворы с концентрацией 0,1 мг/мл получали разбавлением исходного раствора. В работе использовали 0,01 М растворы АМФ и АФ в хлороформе. Азомеркаптофенолы очищали переосаждением из этанольных растворов прибавлением воды и затем перегонкой. В качестве экстрагента применен очищенный хлороформ. Ионную силу растворов, равную $\mu = 0,1$, поддерживали постоянной введением рассчитанного количества KCl. Для создания необходимой кислотности растворов применяли 1 М раствор NaOH. Все использованные реагенты имели квалификацию ч.д.а. или х.ч.

Аппаратура. Оптическую плотность органической фазы измеряли на КФК-2 и СФ-26. Значение pH водной фазы контролировали при помощи прибора И-120.2 со стеклянным электродом. Спектры ЯМР реагентов снимали на импульсном Фурье-спектрометре фирмы Bruker (Германия) при рабочей частоте 399,65 МГц, в растворах дейтерированного бензола (C₆D₆) при комнатной температуре. Относительное содержание протонов различных структурных групп определяли интегрированием соответствующих полос резонансного поглощения. ИК-спектры снимали на спектрофотометре фирмы Bruker.

Методика. В градуированные пробирки с притертыми пробками с интервалом 0,1 мл вводили 0,1–0,8 мл исходного раствора никеля, 2,0–2,5 мл 0,01 М раствора АМФ и 0,8–1,0 мл АФ. Необходимое значение pH устанавливали добавлением 1 М раствора NaOH. Объем органической фазы доводили до 5 мл хлороформом, а водной фазы – до 20 мл дистиллированной водой. Спустя 5 мин органический слой отделяли и измеряли его оптическую плотность при комнатной температуре на КФК-2 при 600–690 нм.

Методика синтеза азомеркаптофенола. Раствор 0,01 моль *m*-тиофенола в 10 мл 5%-го водного раствора NaOH перемешивали при 5–10°C и по каплям добавляли к нему раствор 0,01 моля сульфата или фосфата диазосоединения на основе пиридина в 10 мл воды. Реакционную массу перемешивали при 5–10°C 30 мин, далее добавляли уксусную кислоту до pH 7–8. Целевые продукты выделяли методом перекристаллизации. Выход продукта – 52%.



Синтезированные соединения (ПГМФ, ХПГМФ) исследованы физико-химическими методами (ИК- и ЯМР-спектроскопия; рис. 1) [9, 10].

ПГМФ-ИК (KBr, см⁻¹): 3 460 ν (OH), 2 570 ν (SH), 1 290 и 1 170 ν (C–N), 1 395 ν (N=N), 1 250 δ (C–O).

Химические сдвиги в спектрах ^1H ЯМР ПГМФ (300,18 МГц, C_6D_6) в м.д.: δ 14 (s, 1H–OH), δ 2,560 (s, 1H–SH), δ 6,304 (s, 1H Ar–H), δ 6,560 (s, 1H Ar–H), δ 7,616 (s, 1H Ar–H), δ 7,436 (s, 1H Pr–H), δ 7,812 (s, 1H Pr–H), δ 7,989 (s, 1H Pr–H), δ 8,607 (s, 1H Pr–H).

ХПГМФ-ИК (KBr, cm^{-1}): 3 460 ν (OH), 2 573 ν (SH), 1 294 и 1 171 ν (C–N), 1395 ν (N=N), 1 250 δ (C–O).

Химические сдвиги в спектрах ^1H ЯМР ХПГМФ (300,18 МГц, C_6D_6) в м.д.: δ 14 (s, 1H–OH), δ 2,560 (s, 1H–SH), δ 6,304 (s, 1H Ar–H), δ 6,560 (s, 1H Ar–H), δ 7,616 (s, 1H Ar–H), δ 7,812 (s, 1H Pr–H), δ 7,993 (s, 1H Pr–H), δ 8,621 (s, 1H Pr–H).

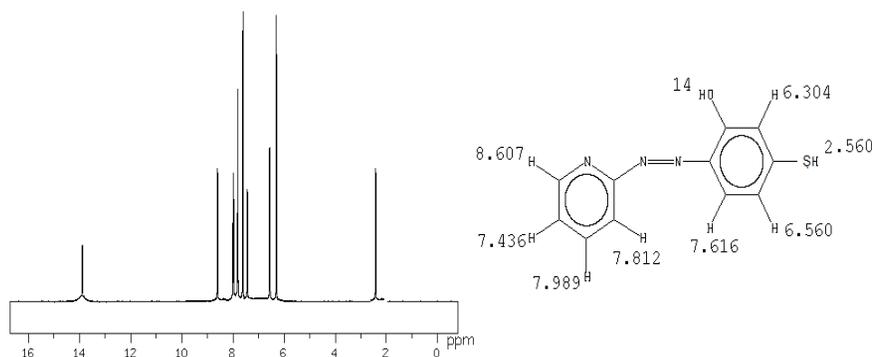
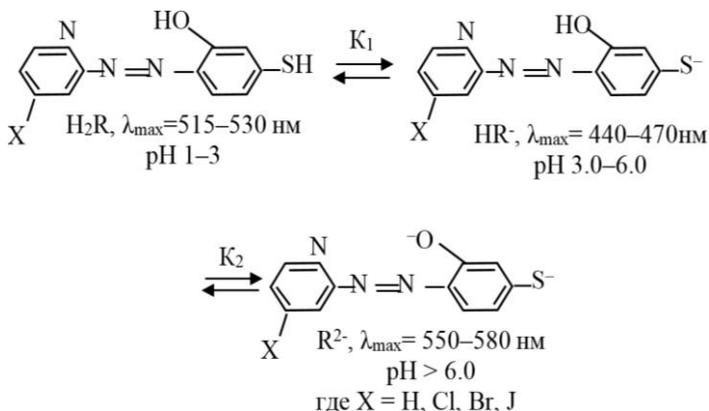


Рис. 1. ^1H ЯМР-спектр ПГМФ

Исследование АМФ. АМФ – кристаллические вещества желто-зеленого цвета, плохо растворимые в воде, кислотах, частично растворимые в щелочах, ацетоне, хорошо растворимые в хлороформе. В зависимости от кислотности среды АМФ могут существовать в виде трех форм: H_2R , HR^- , HR^{2-} .



Первый протон сульфгидрильной группы отщепляется при $\text{pH} > 3$; второй протон оксигруппы – при $\text{pH} > 6$. В сильнокислых растворах АМФ находится в протонизированных формах. Многочисленные исследования АМФ показали, что они существуют в органических растворах в виде мономеров.

Определение знака заряда комплексов. АМФ и его производные с никелем образуют окрашенные комплексы, нерастворимые в неполярных органических растворителях. Заряд комплексов установлен методом электромиграции и методом электрофореза на бумаге. При изучении электромиграции данного комплекса в U-образной трубке с двумя кранами наблюдалось движение окрашенных в голубовато-зеленого цвет ионов к положительному полюсу. На этом основании сделан вывод, что окрашенные комплексы являются анионами. При введении в систему аминов наблюдается переход анионных комплексов в органическую фазу в виде разнолигандного комплекса (РЛК). При электролизе растворов РЛК не наблюдали их передвижения ни к аноду, ни к катоду, т.е. они электрически нейтральны. Опыты вели обычным способом, в U-образной трубке с двумя кранами при напряжении 180–200 В и силе тока 0,5–0,8 мА. Электролиз проводили на протяжении 3 ч.

Материалы и методы исследования

Выбор экстрагента. Для экстракции РЛК были испытаны неводные растворители: хлороформ, 1,2-дихлорэтан, четыреххлористый углерод, бензол, хлорбензол, толуол, ксилол, н-бутанол, изопентанол и диэтиловый эфир. Наилучшими экстрагентами оказались хлороформ, дихлорэтан и четыреххлористый углерод. При однократной экстракции хлороформом извлекается 97,1–98,9% никеля(II) в виде РЛК. Дальнейшие исследования проводили с хлороформом. Содержание никеля в органической фазе определяли фотометрически – диметилглиоксимом, после реэкстракции [2], а в водной фазе – по разности.

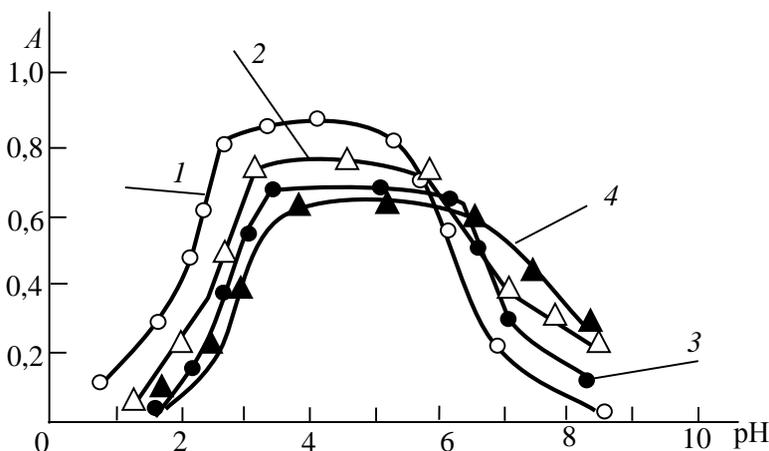


Рис. 2. Влияние pH водной фазы на образование и экстракцию РЛК Ni(II) с АМФ и АФ1. $C_{Ni(II)} = 3,4 \times 10^{-5}$ М, $C_{AMF} = (1,12-2,34) \times 10^{-3}$ М, $C_{AF1} = (6,3-8,4) \times 10^{-4}$ М; КФК-2, $\ell = 0,5$ см. 1 – Ni-XPGMF-AF1; 2 – Ni-BPGMF-AF1; 3 – Ni-IPGMF-AF1; 4 – Ni-PGMF-AF1; КФК-2, $\ell = 0,5$ см

Влияние pH водной фазы. Оптимальный интервал кислотности, при котором оптическая плотность максимальна и постоянна, $pH_{оп}$ 2,4–6,5 ($pH_{об}$ 0,7–8,4). При pH раствора более 8,4 экстракция РЛК практически не наблюдается, что, видимо, связано с увеличением свободных молекул АФ и образованием гидролизованных форм никеля(II). Зависимость оптической плотности от pH представлена на рис. 2. Наличие одного максимума оптической плотности в указанных пределах pH подтверждает предположение об образовании одного комплексного соединения.

Влияние времени выдерживания. РЛК Ni(II) с АМФ и АФ устойчивы в водных и органических растворителях и не разлагаются в течение трех суток, а после экстракции – больше месяца. Максимальная оптическая плотность достигается в течение 8–12 мин. Таким образом, кинетика комплексообразования и извлечения никеля с АМФ и АФ быстрая. Изучена зависимость оптической плотности экстрактов от времени при избытке реагентов и при оптимальном pH.

Влияние концентрации лигандов. РЛК Ni(II) образуются в присутствии небольшого избытка комплексообразующих реагентов и аминифенолов. Оптимальным условием образования и экстракции этих соединений являются концентрации $(1,12–2,34) \times 10^{-3}$ моль/л АМФ и $(6,3–8,4) \times 10^{-4}$ моль/л АФ.

Влияние соотношений объемов фаз. Степень извлечения Ni(II) в виде РЛК не зависит от соотношения объемов водной и органической фаз в широком интервале (от 5:5 до 100:5), что позволяет проводить одновременное концентрирование и фотометрическое определение Ni(II). Таким образом, увеличение водной фазы в 20 раз по отношению к органической не оказывает влияния на полноту извлечения.

Спектры поглощения. Максимальный аналитический сигнал при комплексообразовании никеля с АМФ и АФ заметен при 605–648 нм. АМФ максимально поглощают при 515–530 нм. При комплексообразовании наблюдается bathochromное смещение максимума светопоглощения на 110–118 нм. Контрастность реакций высока: АМФ красный, а комплексы – голубовато-зеленого цвета. Окрашенные хлороформные экстракты АМФ–АФ ассоциатов максимально поглощают свет при 550–580 нм.

Состав и строение комплексов. Стехиометрию исследуемых комплексов устанавливали методами сдвига равновесия и относительного выхода [11]. В составе РЛК на 1 моль никеля приходится по 2 моль АМФ и АФ (рис. 3). Методом Назаренко было установлено, что комплексообразующей формой никеля является Ni^{2+} [12]. При этом число протонов, вытесняемых им из одной молекулы H_2L , оказалось равным 2.

Способ координации никеля с лигандами устанавливали с помощью ИК спектроскопии. Различие в спектрах АМФ и системы Ni–АМФ–АФ свидетельствует о сильном взаимодействии. Полосы валентных колебаний ОН-группы ($3\ 600–3\ 200\ cm^{-1}$), которые наблюдаются в спектре АМФ, отсутствуют в комплексе. Отсутствие этой полосы в спектре комплекса никеля с АМФ и АФ свидетельствует об образовании химической связи Ni–O. Полосы поглощения АМФ при $1\ 395\ cm^{-1}$ ($-N=N-$) смещаются к $1\ 315\ cm^{-1}$, что

свидетельствует об образовании координационной связи атома никеля с этой группой. Уменьшение интенсивности полосы при $2\ 580\ \text{см}^{-1}$, наблюдаемой в спектре АМФ, говорит о том, что $-\text{SH}$ -группа участвует в образовании комплекса в ионизированном состоянии. Предполагается, что АМФ является трехдентатным лигандом, координированным с Ni^{2+} через атом азота азогруппы ($\nu_{\text{N}=\text{N}} = 1\ 395\ \text{см}^{-1}$), придиновый азот ($\nu_{\text{C}-\text{N}} = 1\ 290\ \text{см}^{-1}$; $\nu_{\text{C}-\text{N}} = 1\ 170\ \text{см}^{-1}$) и атом кислорода ($\delta_{\text{C}-\text{O}} = 1\ 250\ \text{см}^{-1}$). Обнаружение полос поглощения при $1\ 370\ \text{см}^{-1}$ свидетельствует о наличии протонированного АФ [9, 10].

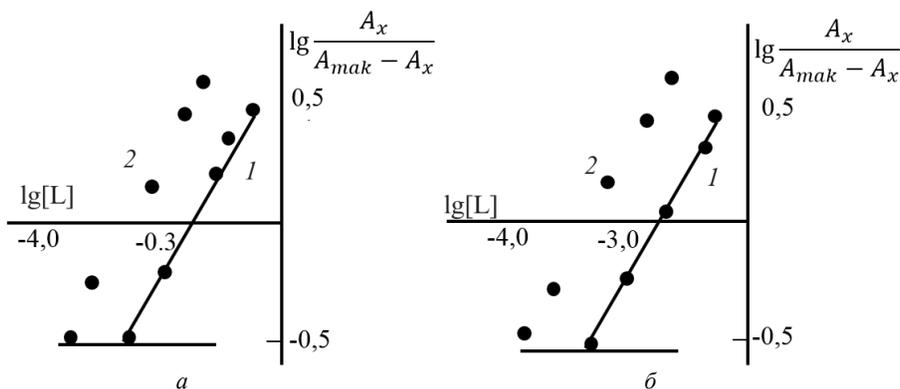
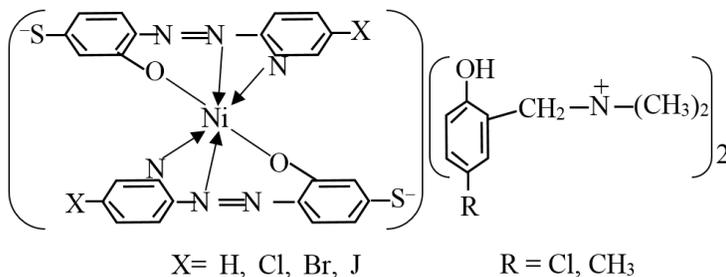


Рис. 3. Определение состава РЛК методом сдвига равновесия для Ni-XПГМФ-АФ₁ (а) и Ni-БПГМФ-АФ₁ (б); 1 – Ni:АМФ; 2 – Ni:АФ₁; $C_{\text{Ni(II)}} = 3,4 \times 10^{-5}\ \text{M}$; СФ-26,1 = 1 см

На основании полученных данных состав экстрагируемых комплексов можно представить формулой $[\text{NiL}_2](\text{АФН}^+)_2$:



Механизм образования РЛК можно представить следующим образом: АМФ при рН 2,3–8,5 образует нерастворимое в хлороформе соединение при избытке ионов никеля. В такую систему добавляют АФ, моментально дается растворимое в хлороформе интенсивно окрашенное в голубовато-зеленого цвета соединение.

Произведенные расчеты показали, что РЛК в органической фазе не полимеризуются и находятся в мономерной форме ($\gamma = 0,94\text{--}1,07$) [13].

Термогравиметрическое исследование комплекса $[\text{Ni}(\text{ПГМФ})_2](\text{АФ}_2)_2$ показало, что его термическое разложение протекает в три стадии: при 60–

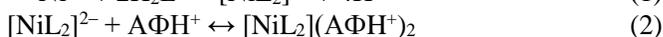
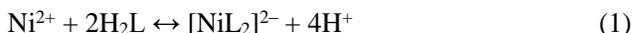
120°C улетучивается вода (потеря массы 2,14%), при 340–390°C разлагается АФ (потеря массы 38,48%), а при 490–510°C – ПГМФ (потеря массы 59,45%). Конечный продукт термоллиза комплекса – NiO.

Химико-аналитические характеристики РЛК Ni(II) с АМФ и АФ. Кажущиеся молярные коэффициенты поглощения комплексов Ni(II)–АМФ–АФ при $\lambda_{\text{макс}}$ вычислены методом насыщения (по спектрам поглощения). Истинные значения молярных коэффициентов поглощения вычислены методом Комаря. Молярные коэффициенты поглощения комплексов составляют $(4,3\text{--}4,8) \times 10^4$.

Условные константы устойчивости комплексов рассчитывали, используя метод пересечения кривых [11]. Результаты вычислений представлен в табл. 1.

При расчете константы равновесия экстракцию РЛК представляли как реакцию взаимодействия между катионным комплексом Ni(II) с АМФ и АФ.

Можно предположить, что при комплексообразовании происходят процессы:



Константа равновесия реакции равна

$$K_p = \frac{\{[\text{NiL}_2](\text{АФН}^+)_2\}_o}{\{[\text{NiL}_2]^{2-}\}_o \{[\text{АФН}^+]^2\}_o} = \lg \frac{A_x}{A_o - A_x} \times \frac{1}{[\text{АФ}]^2}. \quad (3)$$

Поскольку коэффициент распределение (D) равен

$$D = \lg \frac{A_x}{A_o - A_x}, \quad (4)$$

$$K_p = \frac{D}{[\text{АФН}^+]^2}, \quad (5)$$

$$\lg K_p = \lg D - 2 \lg [\text{АФН}^+]. \quad (6)$$

Величины K_p , вычисленные по формуле (6), приведены в табл. 1.

Константы экстракции, вычисленные по формуле

$$\lg K_{\text{э}} = \lg D - 2 \lg [L^{2-}] - 2 \lg [\text{АФН}^+] \quad (7)$$

также приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные химико-аналитические характеристики РЛК Ni(II) с АМФ и АФ

Соединение	рН		λ , нм	$\Delta\lambda$, нм	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	R	$\lg \beta$	$\lg K_p$	$\lg K_{\text{э}}$
	Образования и экстракции	Оптималь.							
Ni–ХПГМФ–АФ ₁	0,7–8,4	2,5–5,3	640	110	4,8	98,0		8,69	12,79
Ni–ХПГМФ–АФ ₂	0,6–8,4	2,4–5,1	648	118	4,7	97,9		6,59	12,47
Ni–БПГМФ–АФ ₁	1,2–8,4	3,0–5,9	635	110	4,6	97,5		8,47	14,33
Ni–БПГМФ–АФ ₂	1,1–8,4	2,8–5,7	638	113	4,5	98,1		8,58	14,42
Ni–ИПГМФ–АФ ₁	1,4–8,2	3,3–6,2	620	100	4,4	98,2		8,55	13,89
Ni–ИПГМФ–АФ ₂	1,3–8,1	3,2–6,0	625	105	4,3	97,4		8,35	13,63
Ni–ПГМФ–АФ ₁	1,7–8,4	3,8–6,5	605	90	4,3	98,2	10,67	8,51	13,77
Ni–ПГМФ–АФ ₂	1,5–8,4	3,5–6,4	610	95	4,5	98,8	10,28	8,65	13,93

Спектрофотометрическое определение Ni(II). Применение РЛК во многих случаях приводит к повышению селективности, контрастности реакций, улучшению экстракционных и других свойств. Введение второго реагента часто приводит к улучшению экстракционных свойств комплексов и снижению предела обнаружения.

Экстракты РЛК Ni(II) подчиняются основному закону светопоглощения при концентрациях 0,5–18 мкг/мл.

Данные, полученные для построения градуировочных графиков, были обработаны методом наименьших квадратов [14]. Уравнения градуировочных графиков приведены в табл. 2. На основании этих уравнений рассчитывали предел фотометрического обнаружения (ПрО) и предел количественного определения (ПрКО) Ni(II) в виде РЛК. Видно, что с возрастанием угла наклона (a) линейных уравнений увеличиваются молярные коэффициенты поглощения комплексов, соответственно увеличивается отрезок оси ординат (b), т.е. снижается предел обнаружения Ni(II) по реакции комплексообразования с АМФ и АФ.

Таблица 2

Аналитические характеристики смешаннолигандных комплексов Ni(II) с АМФ и АФ

Комплексы	ПрО нг/см ³	ПрКО нг/см ³	Чувствительность, нг/см ²	Линейный диапазон градуировочных графиков, мкг/5 мл	Уравнения градуировочных графиков: $b + ax$
Ni–ХПГМФ–АФ ₁	11	36	1,30	0,15–18	0,051 + 0,264x
Ni–ХПГМФ–АФ ₂	10	33	1,37	0,10–19	0,056 + 0,333x
Ni–БПГМФ–АФ ₁	11	36	1,51	0,20–18	0,043 + 0,250x
Ni–БПГМФ–АФ ₂	10	33	1,63	0,15–20	0,037 + 0,286x
Ni–ИПГМФ–АФ ₁	9	30	1,72	0,15–21	0,046 + 0,353x
Ni–ИПГМФ–АФ ₂	10	33	1,80	0,25–18	0,026 + 0,317x
Ni–ПГМФ–АФ ₁	10	33	1,80	0,20–19	0,045 + 0,230x
Ni–ПГМФ–АФ ₂	9	30	1,63	0,15–21	0,071 + 0,351x

Влияние посторонних ионов. Для оценки применимости экстрактов РЛК для разделения и определения Ni(II) изучено мешающее влияние посторонних ионов. Избирательность спектрофотометрического определения Ni(II) в виде изученных комплексов представлена в табл. 3. Определению Ni(II) с АМФ и АФ не мешают ионы щелочных, щелочноземельных элементов и РЗЭ. Мешающее влияние ионов устранено изменением рН среды с помощью маскирующих веществ и применением экстракции. Мешающее влияние Nb(V), Ta(V), Ti(IV) устранено с повышением рН и с помощью фторид-иона. Мешающее влияние Ti(IV) – аскорбиновой кислотой, Cu(II) – тиомочевинной, а Mo(VI) и Nb(V) – оксалат-ионом. При использовании 0,01 М раствора ЭДТА определению не мешают Ti(IV), V(IV), Nb(V), Ta(V), Mo(VI). В аммиачно-ацетатном буфере Mn²⁺ более прочно связывается с EDTA, чем с АМФ, что и используется для его маскировки при определении Ni.

Таблица 3

Сравнительные характеристики методик определения никеля(II)

Реагенты*	pH (экстрагент)	λ , нм	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	Линейный диапазон градуировочных графиков, мкг/мл	Лит.
ДМГ	8–12(CHCl ₃)	470	1,56	0,26–2,10	[15]
ЭТСК	6,0(C ₆ H ₆)	400	1,40	0,4–10	[16]
МХКТСК	6,0(C ₆ H ₆)	410	1,67	0,1–12	[17]
ТКХГ	8,7–9,5(C ₆ H ₆)	522	3,17	0,02–0,70	[18]
ПФТСК	4–6(C ₆ H ₆)	430	1,92	0,5–50	[19]
ГББФГ	4 (C ₆ H ₆)	497	2,85	0,01–0,10	[20]
ПАГМФ-АФ ₁	2,6–8,5 (CHCl ₃)	620	2,30	0,5–16	
ПАГМФ-АФ ₂	2,3–8,4 (CHCl ₃)	650	2,50	0,5–18	

Примечание. ДМГ–диметилглиоксим, ЭТСК–N-этил-3-карбазолкарбоксальдегид-3-тиосемикарбазон, МХК ТСК–7-метил-2-хлорхинолин-3-карбальдегид тиосемикарбазон, ТКХГ–тиазол-2-карбальдегид-2-хинолилгидразон, ПФТСК–пиридоксаль-4-фенил-3-тиосемикарбазон, ГББФГ–4-гидроксibenзальдегид-4-бромфенил гидразин.

Сравнение аналитических возможностей исследованных реагентов и гидрофобных аминов показывает, что контрастность и чувствительность реакции уменьшаются в ряду ХПГМФ–БПГМФ–ИПГМФ–ПГМФ.

Сопоставление методов определения Ni(II) с известными реагентами и АМФ в присутствии АФ. В табл. 3 приведены данные, позволяющие сравнить различные методики определения никеля. Видно, что АМФ имеет преимущества перед другими реагентами: максимум светопоглощения смещен в длинноволновую область спектра [15–20], молярный коэффициент светопоглощения намного превышает молярные коэффициенты светопоглощения других комплексов [15–17, 19], сдвиг pH реакции в более кислую область [15, 18], что повысило избирательность.

Определение никеля(II) в воде и донных отложениях. Для анализа взяли 1 л сточной воды, выпарили до получения осадка, не доводя до кипения. Осадок растворили в 5 мл HNO₃, перевели в колбу емкостью 50 мл и разбавили водой до метки. В аликвотной части определяли содержание Ni(II) с АМФ и АФ. Результаты определения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты определения никеля(II) в сточных водах и донных отложениях
(n = 6, P = 0,95)

Объект анализа		Введено, мг/л	Найдено, мг/л		S _r
			С добавкой	$\bar{X} \pm \frac{t_p S}{\sqrt{n}}$	
Сточная вода	Проба 1	4,0	4,52	0,52 ± 0,05	0,12
	Проба 2	7,0	8,65	1,65 ± 0,12	0,08
Водопроводная вода	Проба 1	4,0	4,05	0,05 ± 0,12	0,18
	Проба 2	10,0	11,58	1,58 ± 0,15	0,21
Донные отложения	Проба 1	2,0	3,46	1,46 ± 0,07	0,08
	Проба 2	5,0	6,25	2,25 ± 0,04	0,09

Определение никеля(II) в растениях. Надежный контроль содержания Ni(II) в биологических материалах важен в связи с его высокой биологической активностью. Навеску растений разложили по методике [21]. Результаты определения представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты определения никеля(II) в растениях ($n = 6, P = 0,95$)

Методика		Найдено в образце, мг/кг	S	S_r	$\bar{X} \pm \frac{t_p S}{\sqrt{n}}$
Фасоль	Диметилглиоксим	1,68	0,041	0,035	$1,65 \pm 0,043$
	ДММФ + Дип	1,71	0,048	0,028	$1,71 \pm 0,050$
	ДММФ + Фен	1,66	0,043	0,026	$1,66 \pm 0,045$
Горох	Диметилглиоксим	2,46	0,110	0,045	$2,46 \pm 0,116$
	8-меркаптохинолин	2,35	0,090	0,039	$2,35 \pm 0,096$
	ДТМФ + Фенз	2,28	0,088	0,039	$2,28 \pm 0,093$
	ДТМФ + БФен	2,39	0,081	0,034	$2,39 \pm 0,085$
Овес	Диметилглиоксим	0,43	0,0198	0,046	$0,43 \pm 0,021$
	8-меркаптохинолин	0,46	0,0133	0,029	$0,46 \pm 0,014$
	ДММФ + Дип	0,42	0,0172	0,041	$0,42 \pm 0,018$
	ДМЭФ + Фен	0,47	0,0136	0,029	$0,47 \pm 0,014$

Выводы

Физико-химическими методами исследовано комплексообразование Ni(II) с азомеркаптофенолом (АМФ, H₂L) {1-(2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ПГМФ), 1-(5-хлор-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ХПГМФ), 1-(5-бром-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (БПГМФ), 1-(5-иод-2-пиридилазо)-2-гидрокси-4-меркаптофенол (ИПГМФ)} в присутствии аминофенолов (АФ): 2-(N,N-диметиламинометил)-4-метилфенола (АФ₁), 2-(N,N-диметиламинометил)-4-хлорфенола (АФ₂). Взаимодействие Ni(II) с АМФ и аминофенолами и извлечение их в органическую фазу (выход РЛК) максимальны при pH 5,2–8,6. За одну экстракцию Ni(II) извлекается хлороформом на 98,4–99,6% в виде РЛК. Оптимальным условием образования и экстракции этих соединений являются концентрации $(0,6–0,8) \times 10^{-3}$ моль/л ДФ и $(0,8–1,2) \times 10^{-3}$ моль/л Ам.

Максимальный аналитический сигнал при комплексообразовании РЛК никеля(II) наблюдается при 450–586 нм, в составе РЛК соотношение Me:АМФ:АФ = 1:2:2.

Результаты исследований образования и экстракции РЛК Ni(II) с АМФ и АФ, физико-химические и аналитические характеристики этих соединений послужили основой для разработки новых методик экстракционно-фотометрического определения Ni(II) в различных природных материалах.

Список источников

1. Влияние различных химических веществ, содержащихся в воде, на живые организмы и человека. URL: http://asdemo.iatp.by/ecologie_6.html

2. Умланд Ф., Янсен А., Тириг Д., Вюнш Г. Комплексные соединения в аналитической химии. М. : Мир, 1975. 531 с.
3. Бабко А.К. О реакции иона никеля с диметилглиоксимом в присутствии окислителей // Журнал аналитической химии. 1948. Т. 3. С. 284.
4. Пешкова В.М., Савостина В.М. Аналитическая химия никеля. М. : Наука, 1966. 204 с.
5. Zalov A.Z., Gavazov K.B. Extractive Spectrophotometric Determination of Nickel with 2-hydroxy-5-iodothiophenol and Diphenylguanidine // Chemistry Journal. 2014. Vol. 4 (5). P. 20–25.
6. Aliyev S.G., Ismailova R.A., Suleymanova E.I., Magarramova L.M., Sultanzadeh S.S., Asgerova Z.G., Zalov A.Z. Spectrophotometric investigation of complex formation of nickel (II) with 2-hydroxy-5-nitrothiophenol and aminophenols // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. 2018. Vol. 5 (3). P. 192–206.
7. Kuliev K.A. Spectrophotometric study of nickel(II) complexes with 2,6-dithiol-4-ethylphenol and heterocyclic diamines // International Congress on Heterocyclic Chemistry “Kost-2015” : book of abstracts. Moscow, 2015. P. 457.
8. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М. : Изд-во АН СССР, 1964. 401 с.
9. Иоффе Б.В., Костиков Р.Р., Разин В.В. Физические методы определения строения органических соединений. М. : Высшая школа, 1984. 336 с.
10. Анисимова Н.А. Идентификация органических соединений. Горно-Алтайск : РИО Горно-Алт. гос. ун-та, 2009. 118 с.
11. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л. : Химия, Ленингр. отделение, 1986. 432 с.
12. Назаренко В.А., Бирюк Е.А. Исследование химизма реакций ионов многовалентных элементов с органическими реагентами // Журнал аналитической химии. 1967. Т. 22 (1). С. 57–64.
13. Ахмедли М.К., Клыгин А.Е., Иванова Л.И., Баширов Э.А. О химизме взаимодействия ионов галлия с некоторыми сульфоталеинами // Журнал неорганической химии. 1974. Т. 19 (8). С. 2007–2012.
14. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В. Аналитическая химия (физико-химические методы анализа). М. : Высшая школа, 1991. 250 с.
15. Yoshikuni N., Baba T., Tsunoda N., Oguma K. Aqueous two-phase extraction of nickel dimethylglyoximate complex and its application to spectrophotometric determination of nickel in stainless steel // Talanta. 2005. Vol. 66 (1). P. 40–44.
16. Ramachandriah C., Kumar J.R., Reddy K.J. et. al. Development of a highly sensitive extractive spectrophotometric method for the determination of nickel(II) from environmental matrices using N-ethyl-3-carbazolecarboxaldehyde-3-thiosemicarbazone // J Environ Manage. 2008. Vol. 88 (4). P. 729–736.
17. Jadhav V.A., Kulkarni M.U. 7-Methyl-2-chloroquinoline-3-carbaldehyde thiosemicarbazone as analytical reagent for copper, cobalt and nickel (II) // J. Indian Chem Soc. 1992. Vol. 69. P. 287–288.
18. Otomo M., Watanabe T., Moriya M. Solvent Extraction and Spectrophotometric Determination of Nickel (II) with Thiazole-2-carbaldehyde 2-Quinolylhydrazone // Analytical Sciences. 1986. Vol. 2 (6). P. 549–552.
19. Sarma L.S., Kumar J.R., Reddy K.J. et al. 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. P. 285–295.
20. Rekha D., Kumar J.D., Jayaraj B. et al. Nickel (II) Determination by Spectrophotometry Coupled with Preconcentration Technique in Water and Alloy Samples // Bull. Korean Chem. Soc. 2007. Vol. 28 (3). P. 373–378.

21. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большешева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурьнина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. Практикум по агрохимии : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

References

1. Vliyanie razlichnyh himicheskikh veshchestv, sodержashchihsya v vode, na zhivye organizmy i cheloveka. URL:http://asdemo.iatp.by/ecologie_6.html (In Russian)
2. Umland F., YAnsen A., Tirig D., Vyunsh G. Kompleksnye soedineniya v analiticheskoy himii. M.: Mir, 1975. P. 286. (In Russian)
3. Babko A.K. O reakciiionanikelya s dimetilglioksimom v prisutstvii okislitelej // J. of Anal.Chem. 1948. T. 3. P. 284. (In Russian)
4. Peshkova V.M, Savostina. V.M. Analiticheskaya himiya nikelya. M.: Nauka, 1966. 204 p. (In Russian)
5. Zalov A.Z., Gavazov K.B. Extractive Spectrophotometric Determination of Nickel with 2-hydroxy-5-iodothiophenol and Diphenylguanidine. Chemistry Journal. 2014, V. 4, № 5, P. 20–25.
6. Aliyev S.G., Ismailova R.A., Suleymanova E.I., Magarramova L.M., Sultanzadeh S.S., Asgerova Z.G., Zalov A.Z. Spectrophotometric investigation of complex formation of nickel (II) with 2-hydroxy-5-nitrothiophenol and aminophenols // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 2018, V. 5, № 3, P. 192–206.
7. Kuliev K.A. Spectrophotometric study of nickel(II) complexes with 2,6-dithiol-4-ethylphenol and heterocyclic diamines. Book of abstracts. International Congress on Heterocyclic Chemistry «Kost-20015», Moscow, 2015, P. 457.
8. Korostelev P.P. Prigotovlenie rastvorov dlya himiko-analiticheskikh rabot. M.: Izd-vo ANSSSR, 1964. 401 p. (In Russian)
9. Ioffe B.V., Kostikov R.R., Razin V.V. Fizicheskie metody opredeleniya stroeniya organicheskikh soedinenij. M.: High school, 1984. 336 p. (In Russian)
10. Anisimova N. A. Identifikaciya organicheskikh soedinenij. Gorno-Altajsk: RIO Gorno.-Alt. gosun-ta, 2009. 118 p. (In Russian)
11. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. Prakticheskoe rukovodstvo po fotokolorimetriceskim i spektrofotometriceskim metodam analiza. L.: Himiya. Leningr., 1986. 432 p. (In Russian)
12. Nazarenko V.A., Biryuk E.A. Issledovanie himizma reakcij ionov mnogova-lentnyh elementov s organicheskimi reagentami // J. of Anal.Chem. 1967. T. 22, № 1. P. 57–64. (In Russian)
13. Ahmedli M.K., Klygin A.E., Ivanova L.I., Bashirov E. A. O himizme vzaimodejstviya ionov galliya s nekotorymi sul'foftaleinami // J. of Inorganic Chem. 1974. T. 19, № 8. P. 2007. (In Russian)
14. Dorohova E.N., Prohorova G.V. Analiticheskaya himiya (fiziko-himicheskie metody analiza). M.: High school, 1991. 250 p. (In Russian)
15. Yoshikuni N., Baba T., Tsunoda N., Oguma K. Aqueous two- phase extraction of nickel dimethylglyoximate complex and its application to spectrophotometric determination of nickel in stainless steel. Talanta. 2005, V. 66, № 1, P. 40–44.
16. Ramachandraiah C., Kumar J. R., Reddy K. J. et.al. Development of a highly sensitive extractive spectrophotometric method for the determination of nickel(II) from environmental matrices using N-ethyl-3-carbazolecarboxaldehyde-3-thiosemicarbazone. J Environ Manage, 2008, V. 88, № 4, P. 729–736.
17. Jadhav V.A., Kulkarni M.U. 7-Methyl-2-chloroquinoline-3-carbaldehyde thiosemicarbazone as analytical reagent for copper, cobalt and nickel (II). J. Indian Chem Soc 1992; № 69. P. 287–288.

18. Otomo M., Watanabe T. Moriya M. Solvent Extraction and Spectrophotometric Determination of Nickel (II) with Thiazole-2-carbaldehyde 2-Quinolylylhydrazone Analytical Sciences. 1986, V. 2, № 6, P. 549–552.
19. Sarma L.S., Kumar J.R., Reddy K.J. et al. Development of highly sensitive extractive spec-trophotometric 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. P. 285–295.
20. Rekha D., Kumar J. D., Jayaraj B. et al. Nickel (II) Determination by Spectrophotometry Coupled with Preconcentration Technique in Water and Alloy Samples Bull. Korean Chem. Soc. 2007, Vol. 28, № 3. P. 373–378.
21. Mineev V.G., Sychev V.G., Amel'yanchik O.A., Bolysheva T.N., Gomonova N.F., Durymina E.P., Egorov B.C., Egorova E.V., Edemskaya N.L., Karpova E.A., Prizhukova V.G. Praktikum po agrohimii: study guide. 2-e pub., ed. acad. RAACS V.G. Mineeva. M.: Izd-vo MGU, 2001. 689 p.

Сведения об авторах:

Залов Али Зал оглы – профессор, доктор химических наук, заведующий кафедрой аналитической и органической химии Азербайджанского государственного педагогического университета, Баку, Азербайджан. E-mail: Zalov1966@mail.ru

Кулиев Керим Аваз оглы – кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической и органической химии Азербайджанского государственного педагогического университета, Баку, Азербайджан. E-mail: kerim.kuliev.69@mail.ru

Акперов Низами Алисахиб оглы – кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической и органической химии Азербайджанского государственного педагогического университета, Баку, Азербайджан. E-mail: adpu-kimya@mail.ru

Аскерова Зохра Гулу кызы – докторант кафедры аналитической и органической химии Азербайджанского государственного педагогического университета, Баку, Азербайджан. E-mail: Phd.zohra@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Zalov Ali Z. – Professor, Doctor of Chemical Sciences, Head of the Department of Analytical and Organic Chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan. E-mail: Zalov1966@mail.ru

Kuliyev Kerim A. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Analytical and Organic Chemistry, Azerbaijan State Pedagogical, Baku, Azerbaijan. E-mail: kerim.kuliev.69@mail.ru

Akperov Nizami A. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Analytical and Organic Chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan. E-mail: adpu-kimya@mail.ru

Askerova Zohra G. – doctoral student of the Department of Analytical and Organic Chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan. E-mail: Phd.zohra@gmail.com

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 03.03.2022; принята к публикации 09.11.2022
The article was submitted 03.03.2022; accepted for publication 09.11.2022*