

Учредитель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15)

В журнале публикуются результаты оригинальных исследований и научные обзоры по основным направлениям химии, в том числе по физико-химическому анализу многокомпонентных систем, направленному синтезу органических соединений, процессам комплексообразования ионов металлов с органическими лигандами, электрохимическим процессам и процессам защиты от коррозии, физико-химическим основам получения новых материалов.

Главный редактор:

Елохов Александр Михайлович, канд. хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Редакционный совет

Авдеев Ярослав Геннадиевич, д-р хим. наук, доцент, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва.

Аишхмина Тамара Яковлевна, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, Вятский государственный университет, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Киров.

Балакирев Владимир Федорович, д-р хим. наук, профессор, чл.-корр. РАН, советник РАН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Лауреат Государственной премии РФ, Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург.

Введенский Александр Викторович, д-р хим. наук, профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж;

Долганов Александр Викторович, канд. хим. наук, доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Саранск.

Ильин Константин Кузьмич, д-р хим. наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов.

Ким Дмитрий Гымнанович, д-р хим. наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск.

Решетников Сергей Максимович, д-р хим. наук, профессор, Удмуртский государственный университет, Ижевск.

Сайкова Светлана Васильевна, д-р хим. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, Красноярск.

Сафармамадзода Сафармамад Муборакишо, д-р хим. наук, профессор, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан.

Стрельников Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН, «Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь.

Улахович Николай Алексеевич, д-р хим. наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань.

Шкляев Юрий Владимирович, д-р хим. наук, профессор, «Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь

Редакционная коллегия

Дегтев Михаил Иванович, д-р хим. наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Зубарев Михаил Павлович, канд. хим. наук, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Кистанова Наталья Сергеевна, канд. хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Кудряшова Ольга Станиславовна, д-р хим. наук, профессор, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь

Леснов Андрей Евгеньевич, д-р хим. наук, «Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь

Масливец Андрей Николаевич, д-р хим. наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Машевская Ирина Владимировна, д-р хим. наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Шеин Анатолий Борисович, д-р хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Шуров Сергей Николаевич, д-р хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Издание включено в национальную информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Подробные сведения о журнале, его редакционная политика и условия публикации размещены на интернет-сайте <http://press.psu.ru/index.php/chem>

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-66772 от 08.08.2016 г.

Founder: Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614068, Russia)

The journal publishes the results of original research and reviews on the main areas of chemistry, including the physicochemical analysis of multicomponent systems, targeted synthesis of organic compounds, processes of metal ions complexation with organic ligands, electrochemical processes and corrosion protection, physical and chemical foundations synthesis new materials.

Chief Editor:

Aleksandr M. Elokhov, Candidat of Chemical Sciences, Perm State University, Perm, Russia.

Editorial Board:

Yaroslav G. Avdeev, Doctor of Chemical Science, Associate Professor, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Tamara Ya. Ashikhmina, Doctor of Engineering Science, Professor, Honorary Worker of Russian Higher Education, Vyatka State University, Institute of Biology of Komi Science Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kirov, Russia.

Vladimir F. Balakirev, Doctor of Chemical Science, Professor, Corresponding member of RAS, Advisor of RAS, Honored Worker of Science and Technology of Russia, Laureate of the State Prize of the Russia, Institute of Metallurgy of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

Aleksandr V. Vvedenskii, Doctor of Chemical Science, Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russia.

Aleksandr V. Dolganov, Candidat of Chemical Science, Associate Professor, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia.

Konstantin K. Il'in, Doctor of Chemical Science, Professor, Honorary Worker of Russian Higher Education, Saratov State University, Saratov, Russia.

Dmitriy G. Kim, Doctor of Chemical Science, Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Sergei M. Reshetnikov, Doctor of Chemical Science, Professor, Udmurt State University, Izhevsk, Russia.

Svetlana V. Saykova, Doctor of Chemical Science, Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Safarmamad M. Safarmamadzoda, Doctor of Chemical Science, Professor, Tajik National University, Dushanbe, Tajikistan.

Vladimir N. Strel'nikov, Doctor of Engineering Science, Professor, Corresponding member of RAS, Institute of Technical Chemistry of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

Nikolay A. Ulakhovich, Doctor of Chemical Science, Professor, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Yuriy V. Shklyayev, Doctor of Chemical Science, Professor, Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

Editorial Staff:

Mikhail I. Degtev, Doctor of Chemical Science, Professor, Perm State University, Perm, Russia.

Mikhail P. Zubarev, Candidat of Chemical Sciences, Associate Professor, Perm State University, Perm, Russia.

Natalya S. Kistanova, Candidat of Chemical Sciences, Perm State University, Perm, Russia.

Olga S. Kudryashova, Doctor of Chemical Science, Professor, Natural Science Institute of Perm State University, Perm, Russia.

Andrey E. Lesnov, Doctor of Chemical Science, Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

Andrey N. Maslivets, Doctor of Chemical Science, Professor, Perm State University, Perm, Russia.

Irina V. Mashevskaya, Doctor of Chemical Science, Professor, Perm State University, Perm, Russia.

Anatoly B. Shein, Doctor of Chemical Science, Perm State University, Perm, Russia.

Sergey N. Shurov, Doctor of Chemical Science, Perm State University, Perm, Russia.

The journal is included in national information and analytical system «Russian Science Citation Index» (RISC).

Detailed information about the journal, its editorial policy and requirements for publication are provided at the website <http://press.psu.ru/index.php/chem>

The journal was registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskomnadzor). The certificate ПИ № ФС 77-66772, Aug. 08. 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

Кулиев К.А., Вердизаде Н.А., Алиева К.Р., Мамедова Ш.А. Спектрофотометрическое определение никеля (II) с использованием 5-(2-бром-5-метоксибензилиден)-тиазолидин-2,4-диона	5
Климаева Л.А., Танкова А.В., Долганов А.В., Никольский Н.А., Бочкарёв Д.В. Разработка подходов и синтез иминодиянтарной кислоты – прекурсора хелатных удобрений для применения в АПК	15
Шильковская Д.О., Елохов А.М., Смолина Ю.В. Всаливающая-высаливающая способность нитратов и хлоридов непереходных металлов в отношении оксиэтилированных нонилфенолов	21

CONTENTS

Kerim A. Kuliev, Naila A. Verdizade, Konul R. Alieva, Shafa A. Mamedova Spectrophotometric determination of nickel (II) using 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)- thiazolidine-2,4-dione	5
Ludmila A. Klimaeva, Anastasia V. Tankova, Alexandr V. Dolganov, Aleksandr N. Nikolsky, Dmitry V. Bochkarev Development of approaches and synthesis of iminodisuccinic acid – precursor of chelate fertilizers for application in agricultural industries	15
Darya O. Shilykovskaya, Aleksandr M. Elokhov, Yulia V. Smolina Salting-out and salting-in ability of non-transition metals nitrates and chlorides to ethoxylated nonylphenols	21

Научная статья

УДК 543.48

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-5-14>

Spectrophotometric determination of nickel (II) using 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)-thiazolidine-2,4-dione

Kerim A. Kuliev, Naila A. Verdizade, Konul R. Alieva, Shafa A. Mamedova

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract. A fast and precise spectrophotometric approach was made to measure nickel (II) using the chromogenic compound 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)-thiazolidine-2,4-dione (BMBT), which forms a yellow-brown complex when combined with other chemicals. It has been investigated whether bmbt can be used to measure Ni (II) through photometry. In the pH range of 7.1 to 8.9, the nickel (II) complex is reduced. A BMBT concentration of 510-4 mol/l is offered for the optimal complex formation and extraction. Water (as the base medium), methyl alcohol, ethyl alcohol, chloroform, hexane, dichloromethane, and acetonitrile were among the solvents investigated in the study. Methanol performed best among all, making it the most appropriate solvent for the experiment. At 482 nm, the complexation of nickel with bmbt reveals the strongest analytical signal. The bathochromic shift in this instance is 146 nm, which is the shift of the absorption peak to the long wavelength side. $1.75 \cdot 10^4$ is the molar absorption coefficient. Ni: BMBT = 1:2 is the component ratio in the complex. It is known that the complexing form of nickel, Ni^{2+} , removes one hydrogen atom from a BMBT molecule. The complex's structure was investigated by employing thermogravimetry and infrared spectroscopy. The research demonstrated that a number of metal ions, containing Fe(III), Cu(II), Mo(VI), Se(IV), Pt(II), Mn(II), Cd(II), Zn(II), Pb(II), and Pd(II), as well as form colored complexes when bmbt is used as a chromogenic reagent. The presence of masking agents or a change in the solution's pH considerably improves the accuracy of nickel measurement in the presence of these metal ions. At nickel concentrations of 0.3–13 g/ml, the fundamental rule of light absorption is observed. By utilizing masking agents, adjusting the medium's pH, or using extraction, the disruptive influence of irrelevant ions is removed. Methods for figuring out the amount of nickel in different things, like bottom deposits, wastewater, and steels, have been created based on the discoveries of a spectrophotometric analysis of the nickel (II) complex with BMBT.

Keywords: nickel (II), 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)-thiazolidine-2,4-dione, spectrophotometry.

For citation: Kuliev, K.A., Verdizade, N.A., Alieva, K.R. and Mamedova, Sh.A. (2024) "Spectrophotometric determination of nickel (II) using 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)-thiazolidine-2,4-dione", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 14, no. 1, pp. 5–14. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-5-14>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-5-14>

Спектрофотометрическое определение никеля (II) с использованием 5-(2-бром-5-метоксибензилиден)-тиазолидин-2,4-диона

Керим Аваз оглы Кулиев, Наилия Аллахверди кызы Вердизаде, Конул Расим кызы Алиева, Шафа Ага кызы Мамедова

Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку, Азербайджан

Abstract. Разработан простой и селективный спектрофотометрический метод определения никеля (II) с использованием 5-(2-бром-5-метоксибензилиден)тиазолидин-2,4-диона (БМБТ) в качестве хромогенного реагента, образующего желто-коричневый комплекс. Изучена возможность использования БМБТ для фотометрического определения никеля (II). Комплекс никеля (II) образуется в интервале pH 7,1–8,9. Максимальный аналитический сигнал комплексообразования никеля с БМБТ наблюдается при 482 нм. Молярный коэффициент поглощения составляет $1,75 \cdot 10^4$. Соотношение компонентов в комплексе Ni:БМБТ = 1:2. Соблюдение основного закона светопоглощения наблюдается при концентрации никеля 0,3–13 мкг/мл. Мешающее влияние посторонних ионов устранено с помощью маскирующих веществ, изменением pH среды или применением экстракции. По результатам спектрофотометрического исследования комплекса никеля (II) с БМБТ разработаны методы определения никеля в различных объектах.

Ключевые слова: спектрофотометрия, никель (II), 5-(2-бром-5-метоксибензилиден)-тиазолидин-2,4-дион

Для цитирования: Кулиев К.А., Вердизаде Н.А., Алиева К.Р. и др. Спектрофотометрическое определение никеля (II) с использованием 5-(2-бром-5-метоксибензилиден)-тиазолидин-2,4-диона // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2024. Т. 14, № 1. С. 5–14. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-5-14>.



Nickel involves in enzymatic activities and builds up in bird feathers and nickel makes it a necessary nutrient for both animals and humans. Nevertheless, having too much “nickel” in the body can trigger a number of medical problems, such as tachycardia, anemia, pulmonary and cerebral edema, and allergic reactions. Electroplating, nickel-cadmium batteries, ceramics, paint pigments, welding rods, ceramics, dental and surgical prostheses, magnetic tapes, computer components, and nickel catalysts are only some of the applications for “Ni”.

Sewage which is containing nickel is toxic after adding the water and this fact defined the need of monitoring the quantity of nickel in samples of waste and natural water. Precise and fast measurement of nickel in natural and waste waters is made possible by spectrophotometric techniques and atomic absorption spectrometry by utilizing flame and graphite furnaces [2]. Yet, often, low analyte concentrations or matrix interferences prevent a direct determination from being used.

Various analytical techniques, such as flame atomic absorption spectrophotometry [3], graphite furnace atomic absorption spectrometry [4], electrothermal atomic absorption spectrometry [5], atomic fluorescence spectrometry [6], inductively coupled plasma-optical emission spectrometry [7], and spectrophotometry [8–12], have been utilized to define the concentration “nickel”. Nonetheless, the procedures mentioned require high-purity solvents and some expensive equipments or ingredients for operation.

Due to their low cost of equipment, simplicity, and ease of automation, spectrophotometry-based procedures are quite common. Apart from that, the intense absorption in the optical spectra, in the visible region, that is distinctive of the ligand itself

is produced by nickel(II) chelates of various ligands, such as di-phenylcarbazone, 8-quinolinol-diphenylthiocarbazone, and its substituted equivalents [13–15].

Methods for determining the presence of nickel in distinct objects have been enhanced and it uses mixed - ligand complexes with oxythiophenols and dithiophenols in the presence of hydrophobic amines [16–19]. The use of 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)thiazolidine-2,4-dione (BMBT) for the photometric measurement of nickel(II) has been examined.

2. Experimental

2.1. Reagents and Solutions

We dissolved a precise quantity of $(\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in water contained 2 ml of concentrated H_2SO_4 , and we were able to make a standard solution of nickel(II) with a concentration of 1 mg/ml. After this, the solution was diluted and we continued until the time it had a final volume of 1 liter and the standard nickel (II) solution was diluted with redistilled deionized water right and after this process we use it to make working solutions. The ligand, BMBT, was yielded employing a certain method. Pure reagent was dissolved in 1 mol/l sodium hydroxide to produce a reagent solution containing a concentration of 0.002 mol/l and we used Britton-Robinson buffer in the pH range of 5–12 or 1 mol/l solutions of KOH and NaOH for obtaining the best pH conditions for experiments.

We used ^1H NMR and IR spectra to confirm the structure of the ligand (BMBT) and the structure was verified. At 3364 cm^{-1} (N-H), 2925 cm^{-1} (Ar-H), 1674 cm^{-1} (C=O), 1573 cm^{-1} (C=N), 1449 cm^{-1} (C=C), 1380 cm^{-1} (C-N), and 733 cm^{-1} (C-S-C), the IR spectrum indicated distinctive peaks at these locations. Peaks at 2.2 ppm (6H, s), 7.18 ppm (2H, s), 7.61 ppm (1H, s), 9.16 ppm (1H, s), and

12.45 ppm (1H, s) were observed in the ^1H NMR spectrum in C_6D_6 solvent.

When we wanted to produce stock solutions, the essential metal salts were dissolved in the distilled water or diluted with the appropriate acids to a predetermined volume. We also produced 1% solutions of various ions by dissolving measured amounts of the appropriate salts in distilled water. Besides, we added acids to metal ion solutions to stop hydrolysis in some of the instances.

2.2. Instrumentation

Two spectrophotometers were used to measure the absorbance of the samples and these spectrophotometers are the SF-26 from the USSR and the KFK-2, also from the USSR, for the measurements, glass cells were used with optical path lengths of 10 mm or 5 mm. We used an I-120.2 potentiometer with a glass electrode to measure the pH of the aqueous solution. Thus a muffle furnace was used to dissolve the samples. In addition to this, ^1H -NMR spectra were collected using a "Bruker" Fourier Transform apparatus which is running at 300,18 MHz in C_6D_6 solvent and ^1H -NMR spectra were infrared (IR) spectra and were recorded using a German "Specord M 80" spectrophotometer.

2.3. General Procedure

2.3.1. General procedure for the determination of Ni(II)

A solution containing 5–100 mg of Ni^{2+} was added to 2 mL of a 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)-thiazolidine-2,4-dione reagent solution in a 10 mL volumetric flask. Methanol is used to change, the total volume to 10 mL. At 490 nm, the absorbance of the final mixture was measured with the reagent blank serving as a reference (path length: 0.5 cm). The absorbance readings were

placed against various Ni^{2+} concentrations in the solutions to make calibration graphs.

2.3.2. Determination of nickel(II) in steel

Sulfuric acid (H_2SO_4) and a sample weighing 0.2 g were added to a 20 ml volume in a 1:1 ratio then this mixture was dissolved. To oxidize the solution were used after that a few drops of concentrated HNO_3 (nitric acid). Thus SO_3 (sulfur trioxide) was produced by evaporating the mixture twice. Then in 20 cc of heated 15% tartaric acid, the precipitate that acquired was dissolved. Water was added to make a volumetric flask's total volume 100 ml after cooling process and then the mixture was shaken. After this, the mixture was filtered. 5 ml of the filtered solution was moved to a separating funnel in order to verify nickel by employing the suggested methods.

2.3.3 Determination of Ni(II) in sewage water and bottom sediments

By evaporating 1 liter of waste water without boiling it a sample of wastewater was exposed to examination to produce a solid residue. After being dissolved in 5 ml of pure nitric acid (HNO_3), this residue was then moved to a 50 ml flask. Ultimately, water was added to dilute the solution to the mark on the flask.

3. Results and Discussion

3.1. Selection of the reaction solvent

The stable complex that BMBT forms with Ni(II) in a distinct of aqueous and non-aqueous solvents has a reddish-yellow-brown color and both the BMBT reagent and the Ni-BMBT complex should be able to dissolve in the ideal solvent and enabling the measurement of discrete absorption spectra for the complexes without interference from the reagent. Water (as the base medium), hexane, methyl alcohol, chloroform, acetonitrile, ethyl alcohol and dichloromethane were among the

solvents studied. Methanol performed best among all which made it the most suitable solvent for the experiment.

3.2. Effect of pH

The complex between Ni (II) and BMBT (an organic molecule) occurs in the pH range of 2.6 to 10, with the ideal pH for complex formation being between 7.1 and 8.9 (see Figure 1). The extraction of Ni(II) gradually declines with going down pH, primarily because of the drop in the concentration of the ionized form of BMBT, which is probably present in solution in an undissociated form. The complex is unable to form due to the Ni ion's hydrolysis at a pH of 10.5. A BMBT concentration of $5 \cdot 10^{-4}$ mol/l is recommended for the optimal complex formation and extraction.

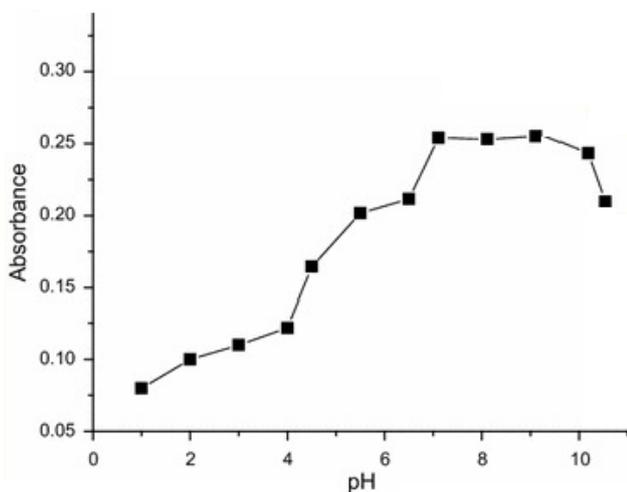


Fig.1. The dependence of the optical density of the complex on the pH of the aqueous phase.
 $C_{\text{Ni(II)}} = 3.44 \cdot 10^{-5}$ mol/l; $C_{\text{BMBT}} = 5.0 \cdot 10^{-4}$ mol/l;
 KFK-2, $\lambda = 490$ nm $l = 1$ cm

Without breaking down the Ni-BMBT complex may be kept unspoiled for two days and the Ni-BMBT complex is stable in both aqueous and organic solvents. Within five minutes of the compound forming, there is a maximum light absorption. Additionally, the compound keeps its stability at 80°C .

3.3. Absorption spectra of reagent solutions and metal complexes

Using a reference blank which included water, the reagent solution's absorbance was calculated. Based on Figure 2, the greatest signal was observed during the complexation of nickel with BMBT turns out at a wavelength of 482 nm and from the Figure 2 the highest absorbance of BMBT is 336 nm. Bathochromic shift is the term for the shift in the absorption peak towards longer wavelengths. Thus in this instance, it equals to 146 nm. Besides, the substance's capacity to absorb light is found to be $1,75 \cdot 10^4$, as measured by the molar absorption coefficient.

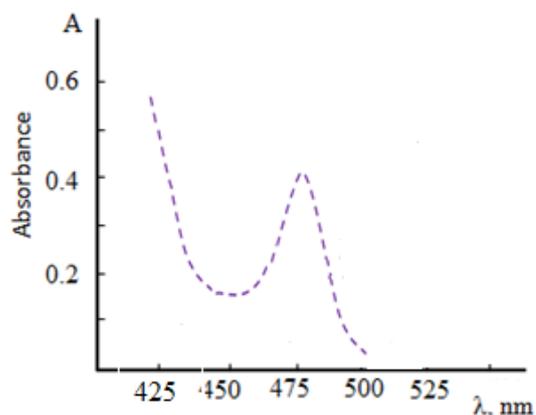


Fig.2. Absorption spectra:
 $C_{\text{Ni(II)}} = 3.44 \cdot 10^{-5}$ mol/l; $C_{\text{BMBT}} = 5.0 \cdot 10^{-4}$ mol/l;
 SF-26, $l = 1$ cm

3.4. Stoichiometry of Ni(II) – BMBT complexes

The molecular structure of the Ni(II) - BMBT complex was investigated by the researchers using a variety of techniques and these techniques involves the equilibrium shift, Starik Barbanel, and straight line approaches and based on all available methodologies, the complex's Ni:BMBT ratio is 1:2 (fig. 3). By using this information, they determined the complex's stability stable.

To manufacture and study the Ni(II) – BMBT complex in further detail, chemical analysis, IR

spectroscopy and the complex's IR spectra was compared with the reagent's. In the complex's IR spectra, prominent absorption bands were observed in the ranges of 1593–1448 cm^{-1} , which corresponds to the aromatic ring $\text{C}=\text{C}$, and 3050–3020 cm^{-1} , which is connected to ν_{CH} in the aromatic core. Other absorption bands at particular wavenumbers were assigned to different molecular vibrations.

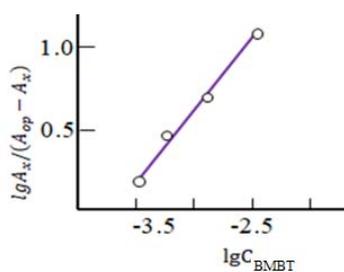
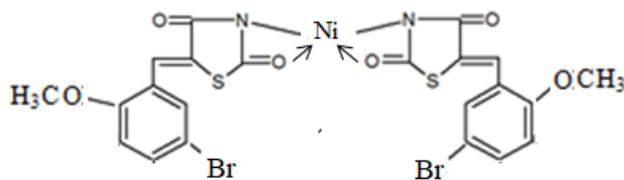


Fig. 3. Determination of the ratio of components by equilibrium shift method



The research presented that utilizing the particular reagent, BMBT, allows the creation of colored complexes and ions of different metal elements, containing Fe(III), Cu(II), Mo(VI), Se(IV), Pt(II), Mn(II), Cd(II), Zn(II), Pb(II), and Pd(II). The accuracy of detecting these metal ions develops noticeably, if masking chemicals are present or the pH of the solution is altered.

Fluoride, chloride, bromide, oxalate, thiosulfate, sulfate, acetate, tartrate, and citrate ions do not prevent the process of determining the metal ions.

Nevertheless, even in modest concentrations, a number of particular ions, like thiourea phosphate, and thiocyanate, might affect the result of the test. On top of that, due to the nickel(II)-EDTA com-

plex's great stability Ni (II) can be completely hidden by EDTA.

According to a thermogravimetric investigation, the Ni-BMBT complex thermally decomposes in two steps. While one of the steps is dehydration and dehydration (90° to 115° C) is the first stage, which results in a loss of 4.93% of body weight, the elimination of BMBT causes the second stage, which takes place between 385 and 450 $^\circ\text{C}$, to lose mass at the highest rate (41.78%). The end result of thermolysis is nickel (II) oxide.

It was found that one BMBT molecule displaces one hydrogen atom and that nickel complexes as Ni^{2+} . The researchers suggested a potential structure for the Ni-BMBT complexes based on the ratio of components in the complexes, the quantity of protons being displaced, and the ionic form of nickel.

plex's great stability Ni (II) can be completely hidden by EDTA.

3.5. Beer's law and sensitivity of Ni(II) – BMBT

To measure the “Ni” concentration, a calibration graph was used in an experiment and the ideal circumstances were used to manage the experiment. In the concentration range of 0.3–13 g/mL, the relationship between the concentration of nickel (Ni(II)) and the absorbance at 482 nm (A_{482}) followed Beer's law. It was discovered that $A_{482} = 0.045 + 0.071x$, where 'x' stands for the concentration of nickel, is the calibration equation. The calibration curve was created by using data resulted utilizing the least squares method [26].

3.6. Analytical applications:

We determined the limits of photometric detection and quantitative nickel determination by em-

ploying calibration graphs. The primary spectroscopic features of our technique for Ni(II) detection using BMBT are shown in Table 1.

In Table 2, we contrasted our photometric nickel(II) approaches' analytical attributes with those of a few other methods that are already in use [3, 9, 18]. The discoveries presents the extreme selectivity, sensitivity, and impact of our technologies, which shows their capacity to reliably detect even minute levels of nickel ions. As our suggested strategy is straightforward, quick, sensitive, and selective, it is superior to existing approaches.

Table 1.

Formation conditions and some chemical and analytical properties of Ni(II) with BMBT

Parameter	Value
Color	yellow brown
pH _{Op}	7.1-8.9
λ_{\max} (nm)	482
Bathochromic shift	146
Molar absorptivity ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$)	$1.65 \cdot 10^4$
Sandell's sensitivity ($ng \cdot cm^{-2}$)	3.51
The equation of calibration curves	$0.045+0.071x$
Correlation coefficient	0.9954
Stability constant (β)	10.61
Beer's law range ($\mu g \cdot ml^{-1}$)	0.3-13
Limit of detection (LOD): $ng \cdot mL^{-1}$	12
Limit of quantification (LOQ): $ng \cdot mL^{-1}$	39

Table 2.

Comparative characteristics of the procedures for determining nickel

Reagent	pH	λ , nm	$\epsilon \cdot 10^{-4}$	Beer's law range ($\mu g \cdot ml^{-1}$)
Dimethylglyoxime [27]	12	470		0.26-2.1
N-ethyl-3-carbazolecarboxaldehyde-3-thiosemicarbazone [28]	6.0	400	1.114	-
7-Methyl-2-chloroquinoline-3-carbaldehyde thiosemicarbazone [29]	6.0	410	1.67	-
Thiazole-2-carbaldehyde 2-quinolylylhydrazone [30]	8.7-9.5	522	7.17	0-0.7
Pyridoxal-4-phenyl-3-thiosemicarbazone[31]	4-6	430	1.92	0.5-5
4-hydroksibenzaldehyd-4-bromphenilhydrazin [32]	4.0	497	12.85	0.01-0.1
BMBT	7.1-8.9	482	1.75	0.3-13

With BMBT's spectroscopic research of the nickel(II) complex as a foundation, to determine nickel in a variety of samples, including bottom deposits, wastewater, and steels, we formed extrac-

tion spectrophotometric methods. Tables 3 and 4 describe how our techniques were successfully used to investigate real samples.

Table 3.

Determination of nickel in steel 8XΦ (C16⁶) (n=5, P=0.95)

Reagent	Average result (%)	Probable relative error (ϵ)	Relative standard deviation (S_r)	Confidence interval (μ)
Dimethylglyoxime	0.255	0.0065	0.024	0.2550 ± 0.0065
Ni - BMBT	0.257	0.0114	0.042	0.2570 ± 0.0114

4. Conclusions

The resultsdescribes that the newly created approach, which makes use of the reagent 5-(2-bromo-5-methoxybenzylidene)-thiazolidine-2,4-

dione (BMBT), is very effective for detecting Ni(II) in water-based solutions quantitatively. The interaction between nickel(II) and BMBT was investigated by using spectrophotometry.

Table 4.

Determination results of nickel (II) in the sewage water and bottom sediments ($n = 6$, $P = 0.95$)

Analysis object	Added, μg	Found (along with supplement), μg	Relative standard deviation (S_r)	Found in the sample, $\mu\text{g} / \text{kg}$
Sewage water				
Sample 1	2.0	2.55	0.039	1.55±0.06
Sample 2	5.0	6.64	0.032	1.64±0.12
Bottom sediments				
Sample 1	2.0	3.46	0.07	1.46±0.07
Sample 2	5.0	6.25	0.05	1.25±0.14

The pH range of 7.1 to 8.9 is where the nickel(II) complex with BMBT forms with the greatest intensity. Besides, this process stands out for being quick and requiring less organic solvent and the component ratios in the complexes as well as the ideal complex formation conditions have been determined. It was possible to measure trace levels of

nickel with accuracy in the concentration range of 0.3 to 13 g/ml because to the Beer's law. The suggested method is straightforward, quick, and extremely sensitive. Consequently, it may be used to identify nickel in both steel samples and bottom sediments.

References

1. Merian E., Anke M., Stoppler M. Elements and Their Compounds in the Environment. Wiley-VCH: Weinheim, 2004.
2. Ravichandran C., Benzil D., Ramachandraiah C., et al. Extraction and spectrophotometric determination of nickel in water, alloys and edible oil samples // International Journal of Bioassays. 2015. Vol.4, № 11. P. 4468–4472.
3. Avci H., Kaya G., Akdeniz I., et al. Flame atomic absorption spectrometric determination of nickel and chromium in various plant leaves used as biomonitors in environmental pollution // Fresenius Environmental Bulletin. 2013. Vol. 22, № 2. P. 379–387.
4. Dobrowolski R., Otto M. Determination of nickel and cobalt in reference plant materials by carbon slurry sampling GFAAS technique after their simultaneous preconcentration onto modified activated carbon // Journal of Food Composition and Analysis. 2012. Vol. 26(1–2). P. 58–65.
5. Sadeghi O., Tavassoli N., Amini M. M., et al. Pyridine-functionalized mesoporous silica as an adsorbent material for the determination of nickel and lead in vegetables grown in close proximity by electrothermal atomic adsorption spectroscopy // Food Chemistry. 2011. Vol. 127 (1). P. 364–368.
6. Zeng C., Jia Y., Lee Y.I., et al. Ultrasensitive determination of cobalt and nickel by atomic fluorescence spectrometry using APDC enhanced chemical vapor generation // Microchemical Journal. 2012. P. 104. P. 33–37.
7. Beiraghi A., Babaee S., Roshdi M. Simultaneous preconcentration of cadmium, cobalt and nickel in water samples by cationic micellar precipitation and their determination by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry // Microchemical Journal. 2012. Vol. 100. P. 66–71.

8. *Ravichandran, C., Benzil D., Ramachandraiah C.* Extraction and spectrophotometric determination of nickel in water, alloys and edible oil samples // *International Journal of Bioassays*. 2015. Vol. 4, № 11. P. 4468–4472.

9. *Ramachandraiah C., Kumar J.R., Reddy K.J.* Development of a highly sensitive extractive spectrophotometric method for the determination of nickel(II) from environmental matrices using N-ethyl-3-carbazolecarboxaldehyde-3-thiosemicarbazone // *Journal of Environmental Management*. 2008. Vol. 88, № 4. P. 729–736.

10. *Amin A.S., AL-Attas A.S.* Study of the solid phase extraction and spectrophotometric determination of nickel using 5-(4'-chlorophenylazo)-6-hydroxypyrimidine-2,4-dione in environmental samples // *Journal of Saudi Chemical Society*. 2012. Vol. 16, №4. P. 451–459.

11. *Chimpalee N., Chimpalee D., Keawpasert P., et al.* Flow injection extraction spectrophotometric determination of nickel using bis (acetylacetone) ethylenediimine // *Analytica Chimica Acta*. 2000. Vol. 408 (1–2). P. 123–127.

12. *Malik A.K., Rao A.L.J.* Spectrophotometric determination of cobalt, nickel, palladium, copper, ruthenium and molybdenum after extraction of their isoamyl xanthate complexes into molten naphthalene // *Journal of Analytical Chemistry*. 2000. Vol. 55, № 8. P. 746–749.

13. *Suresh T., Kumar S.S., Kottureshawara N. M., et al.* Spectrophotometric study of nitrogen base adducts of nickel (II)-4-methyl-8-quinolinate // *E-Journal of Chemistry*. 2008. Vol.5, № 2, P. 404–408.

14. *Umland F., Janssen A., Thierig D., et al.* Theorie und praktische anwendung von complexbildnern. Frankfurt am Main, Akademische Verlagsgesellschaft, 1971.

15. *Marczenko Z., Balcerzak M.* Metod'y spektrofotometrii v UF i vidimoy oblastiakh v neorganicheskom analize. Binom, Moskow, 2007.

16. *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

17. *Kuliev K.A., Verdizade N.A., Aliev S.G., et al.* Complex formation in a liquid-liquid extraction system containing nickel (II), 2, 6-dithiol-4-ethylphenol and bathophenanthroline // *World Journal of Pharmaceutical Research*. 2018. Vol. 7, № 19. P. 61–73.

18. *Zalov A.Z., Shiraliev S.M., Askerova Z.Q.* Extraction-spectrophotometric study on the complex formation in the nickel (II) – 4-hydroxy-3-thiolbenzoic acid – diphenylguanidine system // *Indo American Journal Of Pharmaceutical Sciences*. 2018. Vol.5, №12. P. 15681–15689.

19. *Kuliev K.A., Mamedova R.A., Ismailova Sh.Y.* Complex Formation In A Liquid-liquid Extraction System Containing Nickel (II), 2,6-dithiol-4-methylphenol and Diphenylguanidine // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*. 2016. Vol.3, № 9. P. 5510–5521

20. *Pinheiro D.S., Junior E.N.S., Consolini G., et al.* Optimized synthesis and characterization of thiazolidine-2,4-dione for pharmaceutical application // *MOJ Bioorganic & Organic Chemistry*. 2017. Vol.1, № 4. P. 122–126.

21. *Nakamoto K.* IR-spectra i spectra KR neorganicheskikh i koordinatsionnykh soedinenii. Mir, Moscow, 1991.

22. *Bellami L.* Infrakrasnie spectri slojnikh molecule. Mir, Moscow, 1991.
23. *Bulatov M.I., Kalinkin I.P.* Practicheskoe rukovodstvo po photocolorimetriceskim i spectrophotometriceskim metodam analiza, Leningrad, 1976.
24. *Nazarenko V.A.* Proceeding Comissionon of Analytical Chemistry of the USSR's Academy of Sciences. Nauka, Moscow, 1969.
25. *Nazarenko V.A., Biryuk E.A.* A study of the chemistry of reactions of multivalent element ions with organic reagents // Journal of Analytical Chemistry. 1967. Vol. 22, № 13. P. 57–64.
26. *Dorokhova Y.N., Prokhorova G.V.* Analiticheskaya khimiya (fiziko-khimicheskiye metody analiza), Vysshaya shkola, Moscow, 1991.
27. *Yoshikuni N., Baba T., Tsunoda N., Oguma K.* Aqueous two-phase extraction of nickel dimethylglyoximato complex and its application to spectrophotometric determination of nickel in stainless steel // Talanta. 2005. Vol. 66, № 1. P. 40–44.
28. *Ramachandraiah C., Kumar J.R., Reddy K.J.* Development of a highly sensitive extractive spectrophotometric method for the determination of nickel (II) from environmental matrices using N-ethyl-3-carbazolecarboxaldehyde-3-thiosemicarbazone // Journal of Environmental Management. 2008. Vol. 88, №4. P. 729–736.
29. *Jadhav V.A., Kulkarni M.U.* 7-methyl-2-chloroquinoline-3-carbaldehyde thiosemicarbazone as analytical reagent for copper, cobalt and nickel (II) // Journal of the Indian Chemical Society. 1992, Vol. 69. P. 287–298.
30. *Makoto O., Tsuyoshi W., Mitsuru M.* Solvent extraction and spectrophotometric determination of nickel (II) with thiazole-2-carbaldehyde 2-quinolylylhydrazone // Analytical Sciences. 1986. Vol. 2, № 6. P. 549–552.
31. *Sarma L.S., Kumar J.R., Reddy K.J.* 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
32. *Rekha D., Kumar J.D., Jayaraj B., et al.* Nickel(II) determination by spectrophotometry coupled with preconcentration technique in water and alloy samples // Bulletin of the Korean Chemical Society. 2007. Vol. 28, № 3. P. 373–378

Information about the authors

Kerim Avaz Kuliyev, Docent, Department of analytical and organic chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University (68, Gadzhibekova str., Baku, Azerbaijan), e-mail: kerim.kuliev.69@mail.ru

Naila Allahverdi Verdizade, Professor, Department of analytical and organic chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University (68, Gadzhibekova str., Baku, Azerbaijan), e-mail: verdizade.nailya@mail.ru

Konul Rasim Aliyeva, Graduate Student, Department of analytical and organic chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University (68, Gadzhibekova str., Baku, Azerbaijan)

Shafa Aga Mamedova, Docent, Department of analytical and organic chemistry, Azerbaijan State Pedagogical University (68, Gadzhibekova str., Baku, Azerbaijan)

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 20 February 2024; accepted 11 March 2024

Информация об авторах

Кулиев Керим Аваз оглы, доцент, кафедра аналитической и органической химии, Азербайджанский государственный педагогический университет (Азербайджан, Баку, ул. У. Гаджибекова, 68), kerim.kuliev.69@mail.ru.

Вердизаде Наилья Аллахверди кызы, профессор, кафедра аналитической и органической химии, Азербайджанский государственный педагогический университет (Азербайджан, Баку, ул. У. Гаджибекова, 68), verdizade.nailya@mail.ru.

Алиева Конул Расим кызы, аспирант, кафедра аналитической и органической химии, Азербайджанский государственный педагогический университет (Азербайджан, Баку, ул. У. Гаджибекова, 68).

Мамедова Шафа Ага кызы, доцент, кафедра аналитической и органической химии, Азербайджанский государственный педагогический университет (Азербайджан, Баку, ул. У. Гаджибекова, 68).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 20 февраля 2024 г; принята к публикации 11 марта 2024 г.

— ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ —

Научная статья

УДК 54.057

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-15-20>

Разработка подходов и синтез иминодиянтарной кислоты – прекурсора хелатных удобрений для применения в АПК

Людмила Александровна Климаева, Анастасия Вячеславовна Танкова, Александр Викторович Долганов, Александр Николаевич Никольский, Дмитрий Владимирович Бочкарёв

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия

Аннотация. В статье представлен способ получения иминодиянтарной кислоты с высоким выходом из простых и доступных российских реагентов – аммиака и малеинового ангидрида. Кроме этого, был синтезирован хелатный комплекс цинка и иминодиянтарной кислоты, играющего одну из ключевых ролей в процессах обмена в организме, а так же необходимого для правильно роста и развития живых организмов. Результаты работы могут найти широкое применение для нужд региональных предприятий, в частности как импортозамещение используемых удобрений и добавок в АПК

Ключевые слова: иминодиянтарная кислота, комплексоны, малеиновый ангидрид, удобрения

Для цитирования: Климаева Л.А., Танкова А.В., Долганов А.В., Никольский Н.А., Бочкарёв Д.В. Разработка подходов и синтез иминодиянтарной кислоты – прекурсора хелатных удобрений для применения в АПК // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2024. Т. 14, № 1. С. 5–14. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-15-20>

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-15-20>

Development of approaches and synthesis of iminodisuccinic acid – precursor of chelate fertilizers for application in agricultural industries

Ludmila A. Klimaeva, Anastasia V. Tankova, Alexandr V. Dolganov, Aleksandr N. Nikolsky, Dmitry V. Bochkarev
N. P. Ogarev's National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Abstract. The article presented a method for producing iminodisuccinic acid with high yield from simple and accessible Russian reagents - ammonia and maleic anhydride. In addition, a chelate complex of zinc and iminodisuccinic acid was synthesized, which plays a key role in metabolic processes in the body, as well as being necessary for the proper growth and development of living organisms. The results of the work can be widely used for the needs of regional enterprises, in particular as a substitute for imported fertilizers and additives used in the agricultural sector.

Keywords: iminodisuccinic acid, complexones, maleicanhydride, fertilizers

For citation: Klimaeva, L.A., Tankova, A.V., Dolganov, A.V., Nikolsky, A.N. and Bochkarev, D.V. (2024) "Development of approaches and synthesis of iminodisuccinic acid – precursor of chelate fertilizers for application in agricultural industries", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 14, no. 1, pp. 5–14. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-15-20>.



В условиях введенных обоюдных санкций со стороны России и стран ЕС, важная роль отводится системе мероприятий, направленных на реализацию стратегии импортозамещения на российском агропродовольственном рынке. В условиях неординарно жестких экономических реалий возрастает роль агропромышленного комплекса России в обеспечении продовольственной безопасности страны. При этом важно отметить, что процесс импортозамещения требует от российских производителей восполнение привычных объемов импортного сырья и продовольствия, что в условиях низкого уровня материально-технического обеспечения сделать крайне тяжело. В связи с этим возрастает роль разработки подходов методов и методик по созданию отечественных аналогов в реализации политики импортозамещения.

Увеличение производства продукции животноводства и растениеводства невозможно без организации обеспечения всеми необходимыми элементами питания, в том числе и микроэлементами. Микроэлементы (цинк, медь, магний, железо, селен и т. д.) необходимы в небольших количествах, но должны поступать в оптимальных соотношениях и в наиболее усвояемых формах. На сегодняшний день, как показал анализ рынка, базовой платформой для получения легкоусвояемых форм являются хелатные комплексы. По состоянию на 2021 г. до 90 % компонентов используемых при производстве препаратов содержащих микроэлементы были импортными (Нидерланды, Германия, Польша). В связи с введением санкций недружественными странами возникла острая потребность в создании отечественных синтетических аналогов этих препаратов из имеющегося в РФ сырья. Созданию подобных аналогов

мешает отсутствие методологических платформ для синтеза этих препаратов и регламентов применения синтетических аналогов в сельском хозяйстве.

Хелатные соли металлов с иминодиянтарной кислотой относятся к области зеленых удобрений и кормовых добавок, используемых для введения микроэлементов в почвы, сельскохозяйственные культуры, в рацион крупного рогатого скота. Способность иминодиянтарной кислоты образовывать комплексы с ионами металлов аналогична такой же способности ЭДТА, однако хелаты иминодиянтарной кислоты полностью распадаются на безопасные органические составляющие, следовательно эффективность утилизации микроэлементов в таком случае существенно выше. Известно, что комплексы цинка с иминодиянтарной кислотой оказывают благотворное влияние на физиологическое состояние, рост и продуктивность и животных, и растений – эти комплексоны хорошо усваиваются, а в клетках разлагаются на аминокислоты, которые, совместно с ионами транспортируемых металлов вовлекаются в обмен и полностью метаболизируются в процессах энергообмена.

Таким образом, роль хелатов заключается в том, чтобы увеличить биологическую доступность минералов, необходимых для обогащения рациона животных, и улучшить процесс обмена веществ. Хелаты усваиваются организмом гораздо лучше, чем неорганические формы минералов, а это говорит о том, что органические микроэлементы в кормах для животных можно использовать в меньшей концентрации.

Подавляющее большинство нашедших практическое применение комплексонов в качестве кислотных заместителей при аминных атомах

азота содержат остатки лишь уксусной кислоты. При всех положительных качествах, присущих этим комплексонам, они имеют ряд недостатков: малая селективность действия в отношении отдельных катионов; относительно узкий интервал рН, в котором эти комплексоны являются достаточно эффективными; пониженная растворимость самих комплексонов в форме свободных кислот [1,2].

Комплексы иминодиянтарной кислоты (далее ИДЯК) остаются достаточно устойчивыми, но при этом способны усваиваться и перерабатываться природными объектами, не накапливаясь в окружающей среде.

На данный момент опубликованы два научных издания, в которых систематизированы вопросы получения комплексонов [3,4]. Большинство методов синтеза, описанных в этих книгах, являются универсальными и могут быть использованы для получения исследуемых комплексонов. Однако, часто применяемый способ для синтеза известных комплексонов и состоящий в конденсации галогензамещенных карбоновых кислот с аминами [3] неприменим для получения комплексонов, производных янтарной кислоты, так как в условиях синтеза (водный раствор, рН 9–11, температура 70–95°C) бром- и хлорьянтарные кислоты, используемые в качестве исходного вещества, подвергаются практически полному гидролизу. Специфика структуры рассматриваемых комплексонов в сочетании с оптимизацией условий синтеза и выделения целевого продукта предусматривают нетрадиционный подход к методам их получения.

Для получения ИДЯК могут быть использованы различные методы. Некоторые из них аналогичны тем, которые обычно применяют

для получения многих известных комплексонов, являющихся производными уксусной кислоты (конденсация аминокислот с галогензамещенными углеводородами). Другие методы имеют более специфический характер и впервые применяются для получения комплексонов смешанного типа (реакция нуклеофильного присоединения аминов по двойным связям непредельных дикарбоновых кислот) [5]. Кроме этого, в настоящее время весьма интенсивно разрабатываются методики синтеза и изучаются свойства металлокомплексов с органическими биоактивными веществами с целью выявления новых потенциальных возможностей металлокомплексов [6].

Целью данной работы является разработка методик синтеза солей иминодиянтарной кислоты, преимуществами которой является высокое содержание эффективных компонентов для применения в агропромышленном комплексе, способность разлагаться на биокомпоненты в почве, экологическая безопасность.

Экспериментальная часть

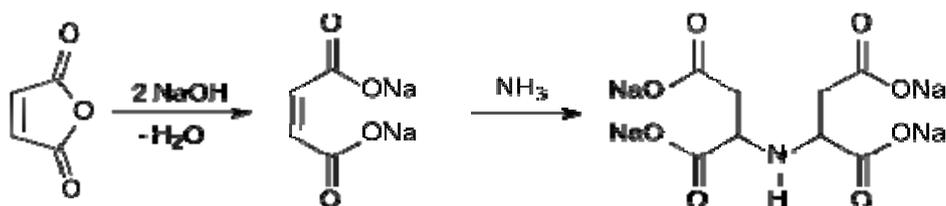
Все используемые в ходе эксперимента реактивы имели квалификацию «х.ч» и «ч.д.а». Растворы готовили на дистиллированной воде.

Иминодиянтарную кислоту получали по следующей методике: 13,9 г (0,12 моль) малеиновой кислоты и 13,4 (0,24 моль) г гидроксида калия растворяли в 50 мл воды, охлаждали до комнатной температуры, добавляли при перемешивании 3,5 мл (0,048 моль) 25%-ного раствора аммиака. Смесь помещали в ампулу, которую запаивали и нагревали при 110–130 °С в течение 8 ч. Затем ампулу вскрывали и к находящемуся в ней раствору, предварительно охлажденному до 5–8 °С, добавляли концентрированную HCl до рН 2–2,5, непрерывно пере-

мешивая раствор и продолжая его охлаждение. Выпавший через 1,5–2 ч белый кристаллический осадок иминодиянтарной кислоты отфильтровывали на воронке с пористым стеклянным фильтром, промывали на фильтре 2–3

раза ледяной водой (3–5 °С) и сушили на воздухе при 80–90 °С. Выход продукта составил 90 %.

Общую схему реакции можно представить следующим образом:



Для получения хелатного комплекса цинка выбрана следующая методика: водный раствор иминодиянтарной кислоты и аммиачный раствор карбоната цинка в мольном соотношении 1:1 смешивали и выдерживали в течение 3 ч при постоянном перемешивании и температуре 50°С. По завершении реакции, раствор упаривали до получения порошка белого цвета. Полученный продукт высушивали в сушильном шкафу при температуре 100 °С до постоянной массы. Выход продукта составил 82 %.

Заключение

Одной из важнейших задач, стоящих перед научным сообществом многие годы, является создание не только технологичных в производстве комплексонов, проявляющих специфические для разных отраслей свойства, но и безопасных в экологическом плане.

Экологическая безопасность комплексных соединений иминодиянтарной кислоты заключается в том, что в условиях живой природы эти комплексы легко разлагаются на составляющие легкоусвояемые живыми организмами

аминокислоты. В частности, как в животноводстве, так и в растениеводстве, комплексы цинка с ИДЯК оказывают благотворное влияние на физиологические параметры и рост растений. Помимо этого, комплексы легко усваиваются и разлагаются в клетках на аминокислоты, которые, совместно с ионами транспортируемого металла вовлекаются в обмен и полностью метаболизируются в процессах энергообмена. В процессе выполнения данной работы был разработан способ эффективного получения иминодиянтарной кислоты из доступных и широко распространенных российских реагентов – аммиака и малеинового ангидрида. Кроме того, был осуществлен синтез хелатного комплекса цинка с иминодиянтарной кислотой, который играет важную роль в биологических процессах обмена, необходимых для правильного роста и развития живых организмов. Полученные результаты работы имеют широкое практическое применение для региональных предприятий, в том числе для замены импортных удобрений и добавок в агропромышленном комплексе.

Список источников

1. Пришибил Р. Комплексоны в химическом анализе. М.: Издательство иностранной литературы, 1960.
2. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Колпакова И.Д. Комплексоны. М.:Химия,1970.
3. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988.
4. Gielen M., Tiekink E.R.T. Metallotherapeutic drugs and metal-based diagnostic agents: the use of metals in medicine. John Wiley & Sons, 2005.
5. Горелов И.П., Самсонов А.П., Никольский В.М. Синтез комплексонов, производных янтарной кислоты // Журнал общей химии. 1979. Т. 49, № 3. С. 659–664.
6. Способ получения комплексонов – производных янтарной кислоты: авт. свид. СССР 455946 / Горелов И.П., Самсонов А.П.; заявл. 25.06.1973; опубл. 05.01.1975, бюл. № 1. 2 с.

Информация об авторах

Людмила Александровна Климаева, младший научный сотрудник, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68), l_klimaeva@mail.ru.

Анастасия Вячеславовна Танкова, инженер-исследователь, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68), anastasiant58@gmail.com.

Александр Викторович Долганов, заведующий кафедрой неорганической и аналитической химии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68), dolganov_sasha@mail.ru.

Александр Николаевич Никольский, доцент кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68), eakosta@mail.ru.

Дмитрий Владимирович Бочкарёв, профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68), bochkarev@yandex.ru.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта проведения научных исследований № 123033000029-7 «Разработка подходов получения отечественных аналогов кормовых добавок и удобрений на основе микроэлементов и совершенствование технологии их применения в животноводстве и растениеводстве»

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 20 февраля 2024 г.; принята к публикации 11 марта 2024 г.

References

1. Prshibil, R. (1960) *Kompleksony v himicheskom analize* [Complexons in chemical analysis], Moscow.
2. Dyatlova, N.M., Temkina, V.Ya. and Kolpakova, I.D. (1970) *Kompleksony* [Complexons], Khimiya, Moscow.
3. Dyatlova, N.M., Temkina, V.Ya. and Popov, K.I. (1988) *Kompleksony i kompleksony metallov* [Complexones and metal complexonates], Khimiya, Moscow.
4. Gielen, M., Tiekink, E.R.T. (2005) *Metallotherapeutic drugs and metal-based diagnostic agents: the use of metals in medicine*, John Wiley & Sons.
5. Gorelov, I.P., Samsonov, A.P. and Nikolsky, V.M. (1979) Synthesis of complexones, derivatives of succinic acid, *Journal of General Chemistry*, vol. 49, no. 3, pp. 659–664.
6. *Gorelov, I.P. and Samsonov, A.P.* (1975) Sposob polucheniya kompleksonov – proizvodnyh yantarnoj kisloty [Method for obtaining complexones – derivatives of succinic acid], USSR, pat. 455946.

Information about the authors

Ludmila A. Klimaeva, Junior research assistant, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya st., Saransk, Russia, 430005), l_klimaeva@mail.ru.

Anastasia V. Tankova, Engineer, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya st., Saransk, Russia, 430005), anastasiant58@gmail.com

Alexandr V. Dolganov, Head of Department of Inorganic and Analytical Chemistry, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya st., Saransk, Russia, 430005), dolganov_sasha@mail.ru

Alexandr N. Nikolsky, Associate Professor, Department of Agronomy and Landscape Architecture, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya st., Saransk, Russia, 430005), eakosta@mail.ru

Dmitry V. Bochkarev, Professor of the Department of Agronomy and Landscape Architecture, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya st., Saransk, Russia, 430005), bochkarevdy@yandex.ru

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 20 February 2024; accepted 11 March 2024

— ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЯ —

Научная статья

УДК 534.344

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-21-31>

**Всаливающая-высаливающая способность нитратов и хлоридов
непереходных металлов в отношении оксиэтилированных нонилфенолов**

Дарья Олеговна Шильковская^{1,2}, Александр Михайлович Елохов¹, Юлия Валерьевна Смолина¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

²Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Пермь, Россия

Аннотация. Изучено влияние нитратов и хлоридов непереходных металлов и аммония на высаливание неонала АФ 9-10 из водных растворов. Показано, что нитраты и хлориды одновалентных металлов обладают в основном высаливающим действием, в то время как нитраты двух- и трехвалентных катионов повышают температуру расслоения водных растворов неонала АФ 9-10. На основании изучения фазовых равновесий в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода в интервале температур 25–80°C экспериментально подтвержден вариант 5 обобщенной схемы топологической трансформации фазовых диаграмм неорганическая соль – оксиэтилированное ПАВ – вода с изменением температуры.

Ключевые слова: оксиэтилированные ПАВ, высаливание, всаливание, топологическая трансформация фазовых диаграмм, жидкостная экстракция.

Для цитирования: Шильковская Д.О., Елохов А.М., Смолина Ю.В. Всаливающая-высаливающая способность нитратов и хлоридов непереходных металлов в отношении оксиэтилированных нонилфенолов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2024. Т. 14, № 1. С. 21–31. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-21-31>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-21-31>

**Salting-out and salting-in ability of non-transition metals nitrates and chlorides
to ethoxylated nonylphenols**

Darya O. Shilykovskaya^{1,2}, Aleksandr M. Elokhov¹, Yulia V. Smolina¹

¹Perm State University, Perm, Russia

²Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract. The influence of nitrates and chlorides of non-transition metals and ammonium on the salting out of neonol AF 9-10 from aqueous solutions was studied. It has been shown that nitrates and chlorides of monovalent metals have a mainly salting-out effect, while nitrates of di- and trivalent cations increase the separation temperature of aqueous solutions of neonol AF 9-10. Based on the study of phase equilibria in the system ammonium nitrate – neonol AF 9-10 – water in the temperature range 25–80°C, option 5 of the generalized scheme of topological transformation of phase diagrams inorganic salt – ethoxylated surfactant – water with temperature changes was experimentally confirmed.

Keywords: ethoxylated surfactants, salting out, salting in, topological transformation of phase diagrams, liquid extraction

For citation: Shiykovskaya, D.O., Elokhov, A.M. and Smolina, Yu.V. (2024) “Salting-out and salting-in ability of non-transition metals nitrates and chlorides to ethoxylated nonylphenols”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 14, no. 1, pp. 21–31. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-21-31>.



Одной из наиболее сложных задач при разработке новых экстракционных систем является выбор высаливателя и оптимальных температурно-концентрационных параметров процесса. В разы сложнее эта задача при использовании в качестве экстрагентов поверхностно-активных веществ, которые обычно представляют собой сложную смесь гомологов, а также образуют с водой мицеллярные растворы. Решение данной задачи возможно с использованием методов физико-химического анализа, в частности, метода топологической трансформации, позволяющего проследить как меняются количество и взаиморасположение фазовых областей с изменением каких-либо параметров системы [1–3]. В работах К.К. Ильина и Д.Г. Черкасова экспериментально доказаны схемы в топологической трансформации фазовых диаграмм систем бинарный растворитель – неорганическая соль, включающих двойную жидкостную систему не расслаивающуюся во всем интервале жидкого состояния [4, 5], имеющую замкнутую область расслаивания [6, 7], а также имеющих нижнюю [8, 9] или верхнюю [10, 11] критическую температуру растворения.

Для систем неорганическая соль – оксиэтилированное ПАВ – вода также предложена обобщенная схема топологической трансформации [3], отвечающая случаям двойной подсистемы вода – ПАВ не расслаивающейся во всем температурном интервале жидкого состояния или характеризующейся нижней критической температурой растворимости (НКТР) [12–16]. Однако, часть предложенных вариантов пока экспериментально не доказаны. В частности, для систем, содержащих двойные системы вода – ПАВ, имеющие НКТР, и неорганические соли, обладающие высаливающим

всаливающим действием, схема топологической трансформации подтверждена лишь частично.

Объекты и методы исследования

В работе использованы: неол АФ 9-10 (оксиэтилированный алкилфенол на основе тримеров пропилена, $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}H$, ТУ 2483-077-05766801-98); неорганические соли квалификации х.ч. и ч.д.а. (нитрат аммония, гексагидрат нитрата магния, нонагидрат нитрата алюминия, нитрат калия, нитрат натрия, тетрагидрат нитрата кальция, нитрат бария, нитрат свинца, гексагидрат хлорида магния, хлорид кальция, гексагидрат хлорида алюминия, дигидрат хлорида бария, хлорид натрия); дистиллированная вода.

Границы области расслаивания определены визуально-политермическим методом [17]. Запаянные ампулы, содержащие смеси исходных компонентов известного состава, помещали в термостат и нагревали при периодическом перемешивании со скоростью $1^\circ C/5$ мин, вблизи температуры расслоения, которая отвечает появлению устойчивой опалесценции, скорость нагрева снижали. Полученные значения температур расслоения являлись средним из 2–3 измерений. По результатам исследований строили зависимости температуры расслоения от содержания одного компонента или смеси двух компонентов в определенном соотношении. На основании политермическим методом графической интерполяции строили изотермические разрезы политермической фазовой диаграммы исследуемой трехкомпонентной системы.

Изотерма растворимости при $25^\circ C$ получена методом сечений [18]. В качестве физического свойства измеряли показатель преломления жидкой фазы на рефрактометре ИРФ-454Б2М.

На основании полученных данных строили зависимости показателя преломления от концентрации одного из компонентов и по изломам на графике определяли составы, отвечающие фазовым переходам при заданной температуре.

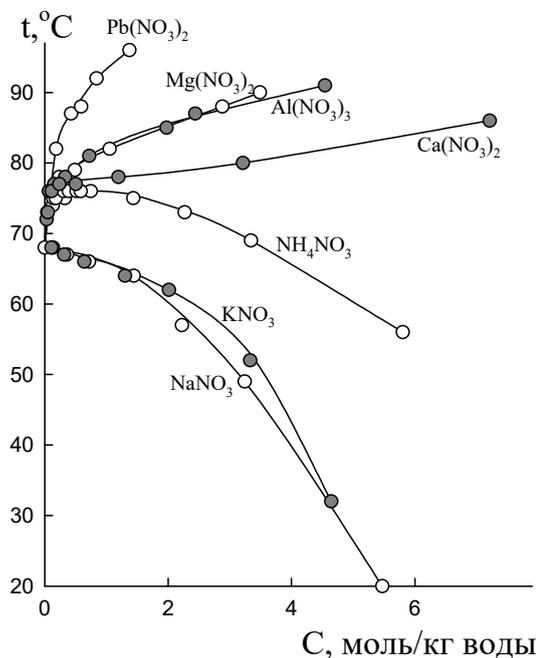
3. Результаты и их обсуждение

На первом этапе произведена оценка высаливающей способности неорганических солей по отношению к неолу АФ 9-10 путем построения политерм изоконцентрационных сечений, содержащих 5 мас.% ПАВ. Полученные политермы представлены на рис. 1.

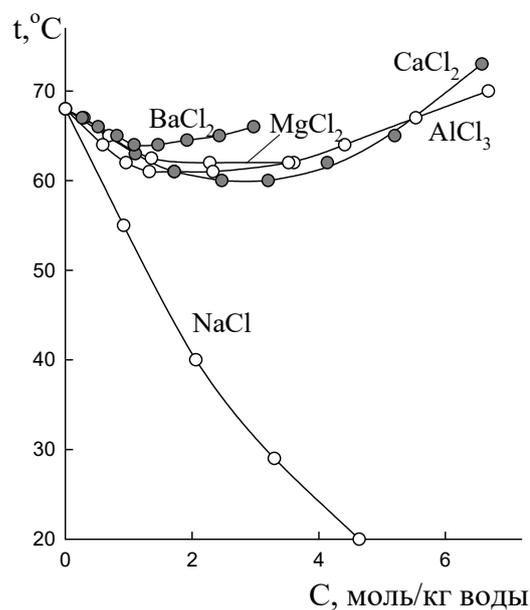
Экспериментально установлено, что нитраты двух и трехзарядных катионов (магния, кальция, бария и алюминия) приводят к росту температуры расслоения водных растворов неола АФ 9-10, что свидетельствует о их всаливающем действии, нитраты катионов щелочных металлов (калия и натрия) обладают выраженным высаливающим действием, что проявляется в снижении температуры расслоения с ростом концентрации соли. Введение нитрата аммония приводит к резкому увеличению температуры расслоения при низких концентрациях и последующему её снижению с ростом концентрации, что свидетельствует о всаливающем-высаливающем действии вводимой соли.

Хлориды однозарядных катионов, на примере хлорида натрия, является типичным высаливателем, при его введении температура расслоения растворов неола АФ 9-10 снижается. Для многозарядных катионов в области низких концентраций наблюдается резкое снижение температуры помутнения, обусловленное высаливающим действием соли. С ростом концентрации соли высаливающее действие соли сменяется всаливающим, обусловленным влиянием

ем катиона, что сопровождается ростом температуры помутнения. Поэтому хлориды двух- и трехзарядных катионов металлов обладают высаливающим-всаливающим действием.



а



б

Рис. 1. Политермы сечений неорганическая соль – 5,0 % неол АФ 9-10 – вода

Количественно оценить высаливающую-всаливающую способность можно следующим образом. Если построить зависимость темпера-

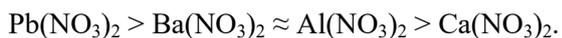
туры расслоения от моляльной концентрации неорганической соли, то концентрация соли, достаточная для образования расслаивания при фиксированной температуре характеризует ее всаливающую или высаливающую способность. Очевидно, чем меньше концентрация соли необходимая для образования расслаивания тем выше высаливающая или всаливающая способность неорганической соли.

В целом, всаливающая и высаливающая способность зависит как от концентрации соли, так и от температуры. Как видно из рис. 1 при низких концентрациях политермы расположены близко друг к другу, что свидетельствует о близости их всаливающей или высаливающей способности, с ростом концентрации соли различия увеличиваются.

В целом высаливающая способность нитратов однозарядных катионов уменьшается в ряду:



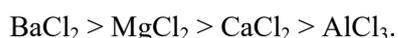
Всаливающая способность нитратов многозарядных катионов уменьшается в ряду:



Высаливающая способность хлоридов металлов и аммония уменьшается в ряду (оценка при 65°C):



Всаливающая способность хлоридов многозарядных катионов уменьшается в ряду (оценка при 65°C):



Для дальнейшего исследования был выбран нитрат аммония, так как использование данной соли позволяет проследить особенности топологической трансформации фазовых диаграмм для солей, обладающих выраженным всаливающим и высаливающим действием.

Данные по фазовым равновесиям в двойной системе NH_4NO_3 – вода взяты из справочников [19]. В системе не наблюдается образования кристаллогидратов, растворимость нитрата аммония увеличивается с ростом температуры, при этом в твердой фазе могут присутствовать различные полиморфные модификации нитрата аммония в зависимости от температуры.

Двойная система неонол АФ 9-10 – вода исследована ранее [20] и характеризуется нижней критической температурой растворения при 68°C, область расслаивания при этом существует в достаточно широком температурном интервале.

Фазовые равновесия в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода изучены по пяти сечениям. Сечения 1–4 характеризовались переменным содержанием нитрата аммония и постоянным соотношением неонол АФ 9-10 : вода равным 5,0 : 95,0; 10,0 : 90,0; 20,0 : 80,0 и 30,0 : 70,0. Сечение 5 соединяло вершину ПАВ и точку, отвечающую 2 % водному раствору нитрата аммония. Положение всех сечений на концентрационном треугольнике представлено на рис. 3.4.

Политермы сечений 1–4 подобны и представлены на примере сечения нитрат аммония – неонол АФ 9-10 : вода = 5 : 95 (рис. 2). Политерма состоит из четырех ветвей, разделяющих области ненасыщенных растворов (L), расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия ($L_1+L_2 + S$) и кристаллизации нитрата аммония (L+S), однако экспериментально определялось только положение линии разделяющей область ненасыщенных растворов и область расслаивания.

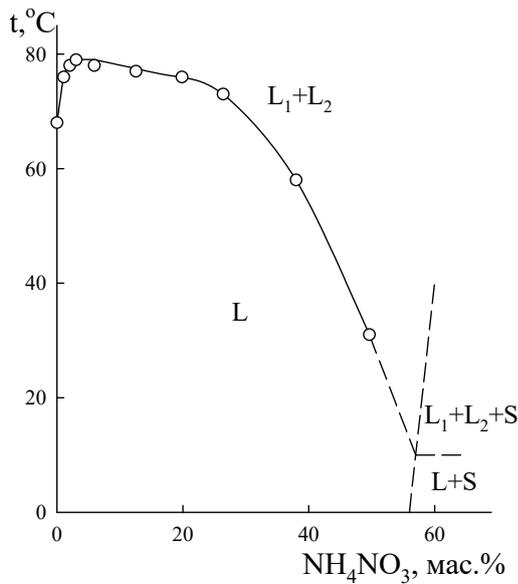


Рис. 2. Политерма сечения
нитрат аммония – неонол АФ 9-10 : вода = 5 : 95

Линия, отвечающая фазовому переходу «раствор» – «расслаивание» начинается в точке, отвечающей температуре расслоения раствора неонла АФ 9-10. С ростом концентрации всаливающего действие нитрата аммония, отвечающее росту температуры расслоения, сменяется высаливающим, вследствие чего температура расслоения смесей уменьшается с ростом концентрации соли.

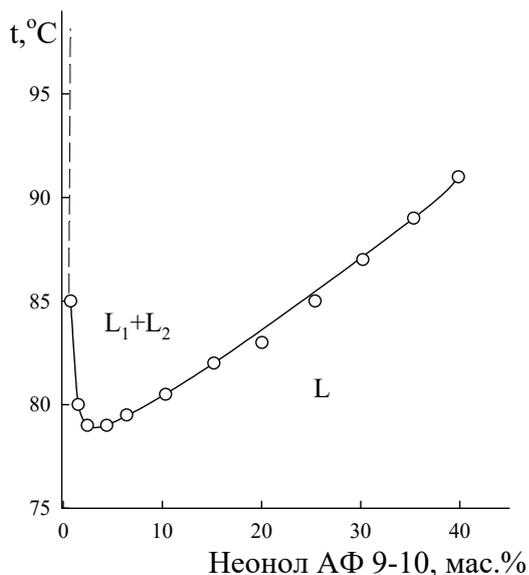


Рис. 3.6. Политерма сечения
неонол АФ 9-10 – нитрат аммония : вода = 2 : 98

Политерма сечения 5 состоит из одной ветви, разделяющей области ненасыщенных растворов (L), расслаивания (L_1+L_2). Кривая при этом характеризуется минимумом. В области низких концентраций температура помутнения резко возрастает, асимптотически приближаясь к оси ординат (рис. 3)

Полученные экспериментальные данные позволили определить закономерности топологической трансформации фазовой диаграммы системы нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода с увеличением температуры.

При температуре менее 68°C фазовая диаграмма содержит четыре области: расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия (L_1+L_2+S), кристаллизации нитрата аммония ($L+S$) и ненасыщенных растворов (L). Термогравиметрическими исследованиями доказано, что в твердой фазе образования новых химических соединений не происходит. Из анализа политерм 1–4 следует, что с ростом температуры размеры области расслаивания увеличиваются. В качестве примера на рис. 4а приведена фазовая диаграмма системы нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода при 25°C . Положение предельной ноды монотектического равновесия определено изотермическим методом сечений по сечениям 1–4.

При температуре 68°C в двойной системе неонол АФ 9-10 – вода появляется критическая точка, отвечающая началу образования второй области расслаивания (НКТ). Граница области расслаивания в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода при 68°C представлена на рис. 4б. Здесь и далее положение предельной ноды не устанавливалось, так как целью исследования являлось установление особенностей трансформации области расслаивания.

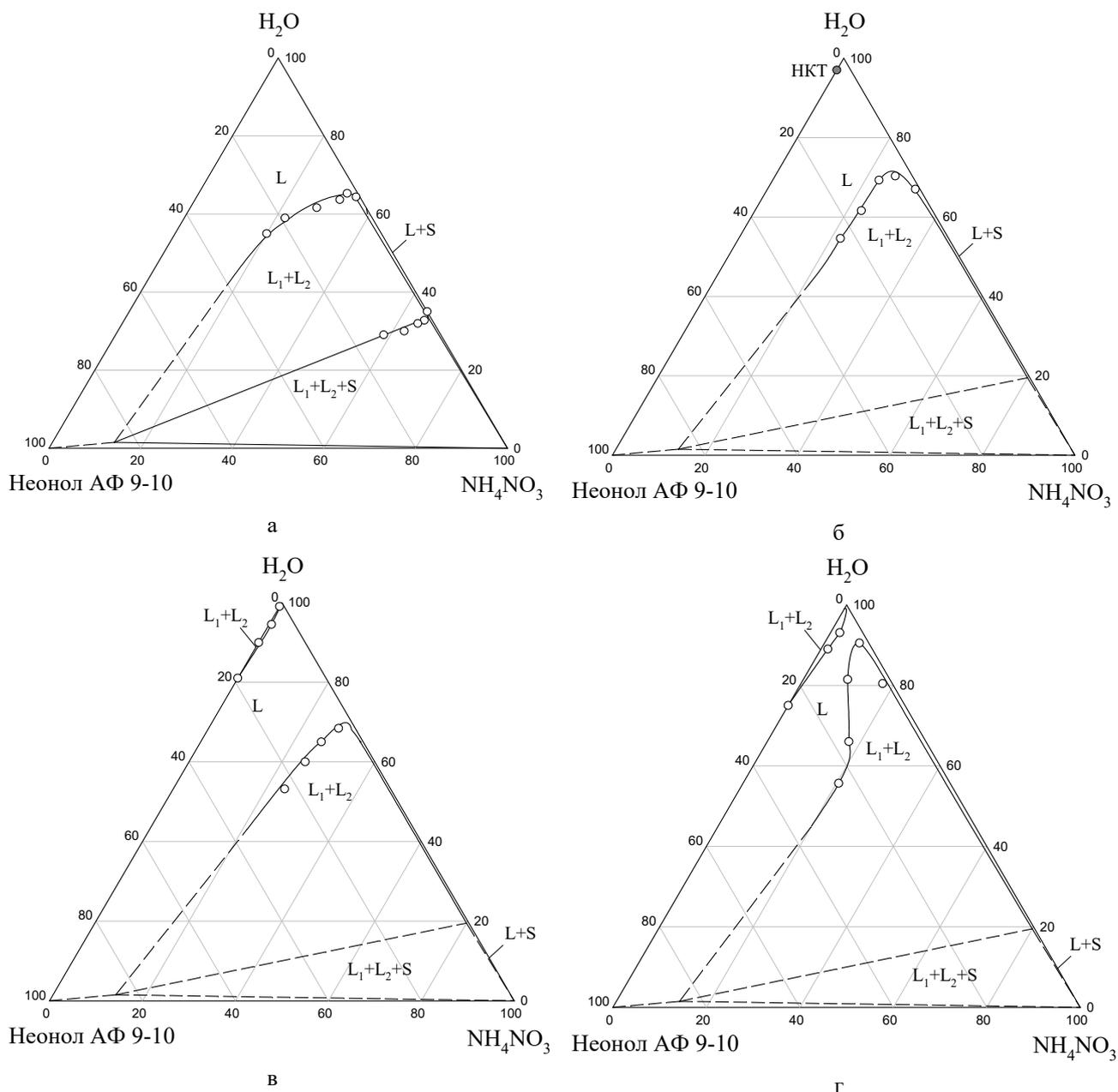


Рис. 4. Фазовая диаграмма системы NH_4NO_3 – неонол АФ 9-10 – вода при 25 (а), 68 (б), 72,5 (в) и 77,5 (г) °С

Дальнейшее увеличение температуры приводит к развитию критической точки НКТ в область расслаивания, в результате чего в интервале температур 68–79°С в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода существуют пять областей: две области расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия (L_1+L_2+S), кристаллизации нитрата аммония ($L+S$) и ненасыщенных растворов (L). С ростом температуры площади обеих областей расслаивания увеличиваются, и они приближаются

друг к другу. Диаграммы растворимости системы при 72,5 и 77,5°С представлены на рис. 4.

В интервале температур 79–80°С происходит слияние областей расслаивания с образованием единой области со сложной геометрией бинадальной кривой (рис. 5а). Более точно измерить температуру слияния областей расслаивания не представляется возможным вследствие наличия пересыщений, затрудняющих фиксацию фазовых переходов в мицеллярных растворах.

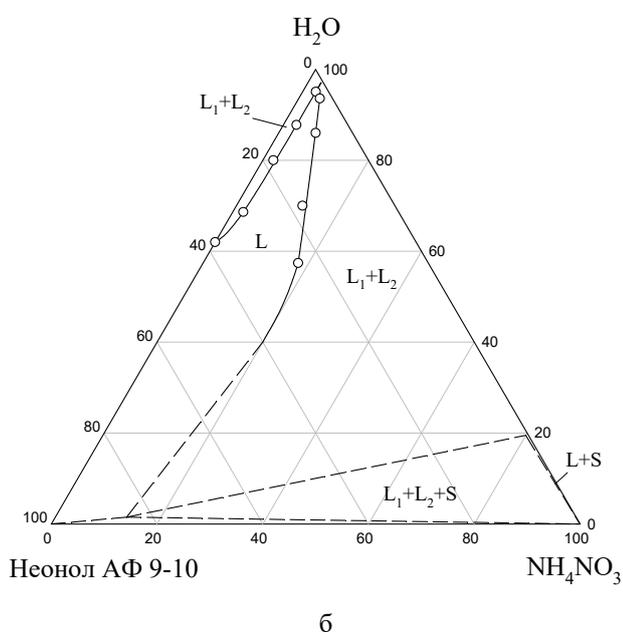
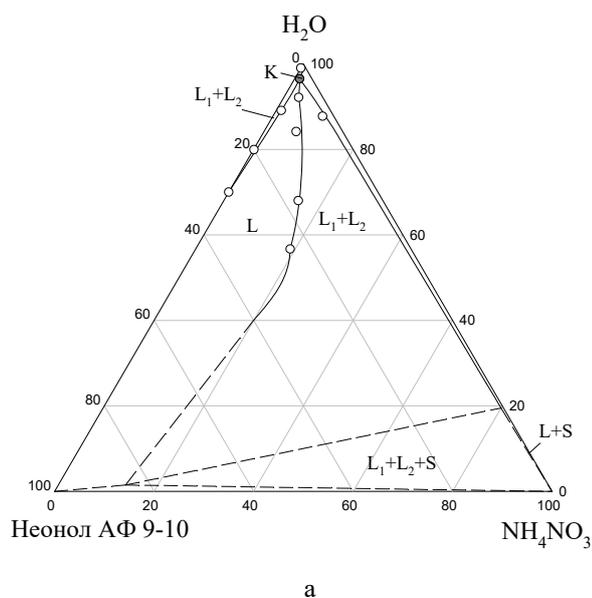


Рис. 5. Фазовая диаграмма системы NH_4NO_3 – неонол АФ 9-10 – вода при 79 (а) и 80 (б) °С

Дальнейший рост температуры приводит к расширению образовавшейся области расслаивания, изменения количества фазовых областей при этом не происходит (рис. 5б). Фазовая диаграмма системы содержит четыре области: расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия (L_1+L_2+S), кристаллизации NaClO_4 ($L+S$) и ненасыщенных растворов (L).

Теоретически, возможна дальнейшая трансформация в тройную жидкостную систему при температуре более 170°C, отвечающей плавлению нитрата аммония.

Заключение

Изучение влияния нитратов и хлоридов переходных металлов и аммония на высаливание неонла АФ 9-10 из водных растворов показало, что нитраты многозарядных катионов являются всаливателями, нитраты и хлориды однозарядных катионов – высаливателями, а хлориды многозарядных катионов обладают высаливающим-всаливающим действием.

На примере фазовых равновесий в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода, исследованных в интервале температур 25–90°C, экспериментально подтвержден вариант 5 обобщенной схемы топологической трансформации фазовых диаграмм неорганическая соль – оксиэтилированное ПАВ – вода с изменением температуры [3].

Список источников

1. *Валяшко В.М.* Фазовые равновесия и свойства гидротермальных систем. М.: Наука, 1990.
2. *Черкасов Д.Г., Ильин К.К.* Топология фазовых диаграмм тройных конденсированных систем соль – бинарный растворитель с всаливанием-высаливанием // X международное курнаковское совещание по физико-химическому анализу. Саратов: Издательство СГУ, 2013. С. 58–62.
3. *Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С.* Топологическая трансформация фазовых диаграмм систем неорганическая соль – оксиэтилированный ПАВ – вода с изменением температуры // Журнал неорганической химии. 2018. Т. 63, № 12. С. 1622–1629.

4. *Il'in K.K., Cherkasov D.G.* Solid–Liquid and Solid–Liquid–Liquid Equilibria in the KI + H₂O + i-C₃H₇OH Ternary System within 10–120° C // *Chemical Engineering Communications*. 2016. Vol. 203, №. 5. P. 642–648.
5. *Синегубова С.И., Ильин К.К., Черкасов Д.Г., и др.* Высаливание изопропилового спирта из водных растворов нитратом калия // *Журнал прикладной химии*. 2004. Т.77, № 12. С. 1945–1949.
6. *Черкасов Д.Г., Смотров М.П., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат калия – вода – н-бутоксигэтанол // *Журнал физической химии*. 2010. Т. 84, № 6. С. 1030–1035.
7. *Смотров М.П., Черкасов Д.Г., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы формиат калия – вода – н-бутоксигэтанол // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Химия, биология, экология*. 2010. Т. 10, № 2. С. 7–13.
8. *Ильин К.К., Курский В.Ф., Черкасов Д.Г., и др.* Фазовые равновесия и критические явления в тройной системе нитрат калия – вода – диэтиламин // *Журнал физической химии*. 2008. Т. 82, № 3. С. 421–425
9. *Ильин К.К., Черкасов Д.Г.* Фазовые равновесия и эффекты высаливания в системе цезий нитрат – триэтиламин – вода при 5–25°С // *Журнал физической химии*. 2013. Т. 87, № 4. С. 621–625.
10. *Черкасов Д.Г., Курский В.Ф., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат цезия – вода – ацетонитрил // *Журнал неорганической химии*. 2008. Т. 53, № 1. С. 146–152.
11. *Курский В.Ф., Черкасов Д.Г., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат натрия – вода – ацетонитрил // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Химия, биология, экология*. 2006. Т.6, № 1. С. 9–13.
12. *Elokhov A.M., Stankova A.V., Kudryashova O.S., et al.* Topological transformation of phase diagrams water – ethoxylated nonylphenols – sodium chloride systems // *Вестник Карагандинского университета*. 2018. V. 92, № 4. P. 35–39.
13. *Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Закономерности всаливания в системах неорганическая кислота – оксиэтилированное ПАВ – вода // *Журнал физической химии*. 2019. Т. 93, № 9. С. 1415–1419.
14. *Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Топологическая трансформация фазовых диаграмм псевдотрехкомпонентных систем КВг – оксиэтилированное ПАВ – вода // *Журнал неорганической химии*. 2017. Т. 62, № 5. С. 586–591.
15. *Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Возможность использования систем соль магния – моноалкилполиэтиленгликоль – вода в мицеллярной экстракции // *Журнал неорганической химии*. 2016. Т. 61, № 2. С. 256–262.
16. *Станкова А.В., Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Температурная трансформация фазовых диаграмм систем вода – оксиэтилированный нонилфенол – MgCl₂ // *Журнал неорганической химии*. 2020. Т. 65, № 12. С. 1691–1696.

17. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Влияние природы аниона высаливателя на расслаивание в системах соль калия – бис(алкилполиоксиэтилен)фосфат калия – вода // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 10. Р. 1491–1496.
18. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Саратовск. ун-т, 1969. 122 с.
19. Кургинцев А.Н. Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник. Л.: Химия, 1972. 248 с.
20. Шильковская Д.О., Елохов А.М., Денисова С.А., и др. Фазовые равновесия и экстракция ионов металлов в системах на основе смесей оксипропилированных нонилфенолов// Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 79, № 9. С. 2036–2040.

Информация об авторах

Дарья Олеговна Шильковская, ассистент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15); аспирант, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), dasha_03_12@vk.com.

Александр Михайлович Елохов, кандидат химических наук, доцент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), elhalex@yandex.ru.

Юлия Валерьевна Смолина, студент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 5 марта 2024 г.; принята к публикации 12 марта 2024 г.

References

1. Valyashko, V.M. (1990) *Fazovye ravnovesiya i svoystva gidrotermal'nyh system* [Phase equilibria and properties of hydrothermal systems], Nauka, Moscow.
2. Cherkasov, D.G. and Il'in, K.K. (2013) Topology of phase diagrams of ternary condensed systems salt - binary solvent with salting in - salting out, *In X International Kurnakov Meeting on Physicochemical Analysis*, Saratov, pp. 58–62.
3. Elokho, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova, O.S. (2018) Topologic Transformation of Inorganic Salt – Oxyethylated Surfactant – Water Phase Diagrams in Response to Changing Temperature, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 63, no. 12, pp. 1636–1643.
4. Il'in, K.K. and Cherkasov, D.G. (2016) Solid–Liquid and Solid–Liquid–Liquid Equilibria in the KI + H₂O + i-C₃H₇OH Ternary System within 10–120°C, *Chemical Engineering Communications*, vol. 203, no. 5, pp. 642–648.

5. Sinegubova, S.I., Il'in, K.K., Cherkasov, D.G., Kurskii, V.F. and Tkachenko, N.V. (2004) Salting-out of isopropyl alcohol from aqueous solutions with potassium nitrate, *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 77, no. 12, pp. 1924–1928.
6. Cherkasov, D.G., Smotrov, M.P. and Il'in, K.K. (2010) Topological transformation of the phase diagram of the potassium nitrate – water – n-butoxyethanol ternary system, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 84, no. 6, pp. 922–927.
7. Smotrov, M.P., Cherkasov, D.G. and Il'in, K.K. (2010) Topological transformation of the phase diagram of the ternary system potassium formate – water – n-butoxyethanol, *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, vol. 10, no. 2, pp. 7–13.
8. Il'in, K.K., Kurskii, V.F., Cherkasov, D.G. and Sinegubova, S.I. (2008) Phase equilibria and critical phenomena in the potassium nitrate – water – diethylamine ternary system, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 82, no. 3, pp. 343–347.
9. Il'in, K.K. and Cherkasov, D.G. (2013) Phase equilibria and salting-out effects in a cesium nitrate-triethylamine- water system at 5–25°C, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 87, no. 4, pp. 598–602.
10. Cherkasov, D.G., Kurskii, V.F. and Il'in, K.K. (2008) Topological transformation of the phase diagram for the ternary system cesium nitrate – water – acetonitrile, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 53, no. 1, pp. 139–145.
11. Kurskii, V.F., Cherkasov, D.G., Il'in, K.K. (2006) Topological transformation of the phase diagram of the ternary system sodium nitrate – water – acetonitrile, *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, vol. 6, no. 1, pp. 9–13.
12. Elokhov, A.M., Stankova, A.V., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2018) Topological transformation of phase diagrams water – ethoxylated nonylphenols – sodium chloride systems, *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry*, vol. 92, no. 4, pp. 35–39.
13. Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S., Lesnov, A.E. (2019) Salting-in Effects in Inorganic Acid – Ethoxylated Surfactant – Water Systems, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 93, no. 9, pp. 1822–1826.
14. Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2017) Topological Transformation of Phase Diagrams in KBr – Oxyethylated Surfactant – Water Pseudo-Ternary Systems, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 62, no. 5, pp. 585–590.
15. Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2016) Potential of Magnesium Salt – Monoalkylpolyethylene Glycol – Water Systems for Use in Micellar Extraction, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 61, no. 2, pp. 243–249.
16. Stankova, A.V., Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2020) Temperature-Induced Transformation of Phase Diagrams for Water – Oxyethylated Nonylphenol – MgCl₂ Systems, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 65, no. 12, pp. 1922–1927.
17. Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova O.S. (2016) Effect of the Nature of a Salting-Out Agent Anion on the Phase Separation of a Potassium Salt–Potassium Bis(alkyl polyoxyethylene)phosphate–Water Systems, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 90, no. 10, pp. 1972–1977.

18. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969) *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnyh sistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov (in Russian).

19. Kirgintsev, A.N. (1972) *Rastvorimost' neorganicheskikh veshchestv v vode* [Solubility of inorganic substances in water], Khimiya, Leningrad.

20. Shilykovskaya, D.O., Elokhov, A.M., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2023) Phase equilibria and extraction of metal ions in systems based on mixtures of oxyethylated nonylphenols, *Russian Chemical Bulletin*, vol. 72, no. 9, pp. 2036–2040.

Information about the authors

Daria O. Shilykovskaya, Assistant, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614068); Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Academic Korolev st., Perm, Russia, 614013), dasha_03_12@vk.com.

Aleksandr M. Elokhov, Candidate of Chemistry Sciences, Associate professor, Department of inorganic chemistry, chemical technology and technosphere safety, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614068), elhalex@yandex.ru.

Yulia V. Smolina, Student, Department of inorganic chemistry, chemical technology and technosphere safety, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614068).

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 5 March 2024; accepted 12 March 2024

Правила оформления и предоставления рукописей статей в журнал «Вестник Пермского университета. Серия «Химия»

Общие положения

Научный журнал «Вестник Пермского университета. Серия «Химия» публикует результаты оригинальных исследований и научные обзоры по основным направлениям химии на русском и английском языках, в том числе по:

- физико-химическому анализу водно-органических и водно-солевых систем;
- физико-химическим основам получения новых материалов;
- направленному синтезу синтез органических соединений, обладающих различными свойствами;
- процессам комплексообразования ионов металлов с органическими лигандами и применению комплексных соединений в процессах разделения и концентрирования;
- электрохимическим процессам и процессам защиты от коррозии.

Опубликованные материалы, а также материалы, представленные для публикации в других журналах, в том числе на других языках, к рассмотрению не принимаются. Все поступающие рукописи проходят обязательную проверку на некорректные заимствования в системе «Антиплагиат», результаты проверки направляются рецензентам по их запросу. Статьи, оформленные с нарушением настоящих правил, возвращаются авторам без рассмотрения по существу.

Статьи, направляемые в редакцию, подвергаются одностороннему слепому рецензированию. Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала на основании представленных рецензий, и ее решение является окончательным. О приеме или отклонении статьи редакция извещает автора по электронной почте.

После опубликования авторам по электронной почте высылается электронный оттиск статьи. Оглавления выпусков журнала, а также опубликованные статьи в открытом доступе размещены на сайте журнала <http://press.psu.ru>.

Представление рукописей

Рукописи статей представляются в редакцию в электронном виде через сайт журнала <http://press.psu.ru> или по электронной почте chemvestnik@psu.ru, chemvestnik@yandex.ru. К статье должны быть приложены сканы сопроводительных документов: заключения о возможности открытого опубликования; лицензионный договор, подписанный всеми авторами. Образец договора размещен на сайте журнала в разделе «Правила для авторов» <http://press.psu.ru/index.php/chem/Guidelines>, а также может быть запрошен по электронной почте chemvestnik@psu.ru или chemvestnik@yandex.ru. Статья не может быть принята к печати, пока авторы не представили указанных документов.

Отправка статьи на доработку и возвращение исправленного варианта осуществляется посредством электронной системы на сайте <http://press.psu.ru> или электронной почты.

Правила оформления статьи

Рукопись должна быть набрана на компьютере в текстовом редакторе MicrosoftOfficeWord. Размер страницы – А4. Поля – 2 см со всех сторон. Расстояние до верхнего и нижнего колонтитулов – 1,25 см, колонтитулы должны быть пустыми. Интервал до и после абзаца – 0 пт. Основной текст статьи набирается шрифтом TimesNewRoman, кегль (размер шрифта) – 11 пт, междустрочный интервал – полуторный. Перенос слов – автоматический, слова разделяются одним пробелом. Абзацный отступ – 0,5 см. Не следует использовать клавишу Tab для форматирования текста, клавиша Enter используется только для создания нового абзаца.

При подготовке рукописи желательно использовать стилевой шаблон, который доступен на сайте журнала в разделе «Правила для авторов» <http://press.psu.ru/index.php/chem/Guidelines> и направляется авторам по запросу на электронную почту chemvestnik@psu.ru или chemvestnik@yandex.ru.

При оформлении статьи необходимо различать знаки дефис (-) и тире (–), знаки ноль (0) и букву О, английскую букву l (L) и единицу (1). Между числами ставится знак тире без отбивки (пробелов), напр.: 12–15. Пробел ставится между инициалами и фамилией, цифрой и размерностью кроме градусов, процентов и промилле, знаком номера или параграфа и числом, в ссылках на рисунки и таблицы (рис. 1, табл. 1). Пробел не ставится между кавычками или скобками и заключенными в них словами, числом и буквой в обозначениях (рис. 1а). Точка ставится после сносок (в том числе в таблицах), примечаний к таблице, подписей к рисункам, сокращений, кроме подстрочных индексов, соответствующих одному слову. Точка не ставится: после УДК, названий статьи, таблиц и рисунков, фамилий авторов, адресов, заголовков и подзаголовков, размерностей. Следует избегать смешанного употребления русских и латинских индексов. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

В материалах должны использоваться физические единицы и обозначения, принятые в Международной системе единиц СИ (ГОСТ 9867-61), и относительные атомные массы элементов по шкале ^{12}C . В расчетных работах необходимо указывать используемые программы. При названии соединений следует использовать терминологию ИЮПАК.

Математические формулы набираются в редакторе Microsoft Equation версии 3.0 или ниже. Если формула набирается на отдельной строке, то она форматируется по центру.

Формулы и схемы химических реакций нумеруются только в случае их упоминания в тексте. Структурные формулы химических соединений и схемы химических реакций должны быть выполнены с помощью редактора химических формул ChemDraw (стиль ACS, шрифт TimesNew Roman, кегль – 11, масштабирование – 100 %).

Таблицы и рисунки подлежат нумерации в случае, если их больше одного. Текст должен содержать ссылки на все таблицы и рисунки. Дублирование данных в таблицах, рисунках и тексте недопустимо.

Таблицы должны быть оформлены с применением табличной разметки, иметь порядковые номера, названия, и вставлены непосредственно в текст статьи. Сокращения, структурные формулы и рисунки в таблицах не допускаются. Названия таблиц набираются прямым шрифтом, кегль (размер шрифта) – 11 пт и форматируются по центру. Вставка таблиц без названий не допускается.

Рисунки должны быть выполнены на компьютере и вставлены непосредственно в текст статьи. Фотографии и растровая графика должна быть представлена в формате TIFF, JPEG или PNG, векторная графика – в формате EPS. Рекомендуемое разрешение – не ниже 300 dpi. Использование импортированных объектов Microsoft Office Excel, Sigma Plot и других программ не допускается. Рекомендуется, чтобы размер рисунка в рукописи позволял его воспроизведение без масштабирования 7,5–8,0 см (на одну колонку), либо 16–17 см (на две колонки). При наличии нескольких частей одной иллюстрации они должны располагаться последовательно и иметь общую подпись. Внутри файла не следует группировать рисунки каким-либо способом.

Журнал является черно-белым изданием, поэтому представление цветных рисунков не допускается. Малоинформативные рисунки и микрофотографии, которые могут быть описаны в тексте, не публикуются. ИК-, ЯМР-спектры и ТГ-кривые публикуются только в тех случаях, когда они необходимы для выявления особенностей строения или поведения соединений и смесей. Количество рисунков и таблиц должно соотноситься с объемом рукописи. В процессе рецензирования и подготовки статьи к печати количество рисунков может быть изменено.

Подрисуночные подписи набираются прямым светлым шрифтом, кегль (размер шрифта) – 11 пт и форматируются по центру. Вставка рисунков без подрисуночных подписей не допускается.

Структура рукописи

Первая страница рукописи оформляется следующим образом:

- Тип статьи (научная статья / обзорная статья).
- Индекс Универсальной десятичной классификации (УДК).
- Название статьи. По возможности следует исключить использование аббревиатур, математических и специальных символов.
- Авторы, фамилии иностранных авторов пишутся на языке оригинала, для языков с нелатинским шрифтом приводится англоязычная транскрипция.
- Полное наименование учреждений, где работают авторы. Указываются традиционные названия учебных учреждений и академических институтов без формы принадлежности. После наименования организации указывается город и страна.
- Аннотация / Abstract объемом 100–150 слов должна содержать сжатое описание основных результатов исследования и путей их достижения и новизну исследования. Использование аббревиатур и специальных символов не допускается.
- Ключевые слова / Key words (от 3 до 6) характеризующие тематику статьи и не повторяющие ее название. Перечисляются через точку с запятой, в конце точка не ставится.

Далее приводятся все указанные данные на английском языке.

Основное содержание статьи рекомендуется систематизировать на разделы: Введение, Теоретический анализ, Объекты и методы, Экспериментальная часть, Результаты и обсуждение, Заключение.

После заключения приводится *Список источников*, который формируется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Если исследования проводились на животных или с участием людей, то необходимо обязательно добавить раздел «*Соблюдение этических норм*», где указать: «Все исследования с участием живот-

ных соответствовали этическим стандартам учреждения, нормативным актам РФ и международных организаций» или «Все исследования, выполненные с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие».

Информацию о помощи в выполнении исследования, в том числе участие в обсуждении, благодарности коллегам, информацию об использовании уникального оборудования и оборудовании центров коллективного пользования следует отразить под заголовком «*Благодарности*».

Если исследование выполнено при финансовой поддержке какой-либо организации или спонсоров необходимо добавить раздел «*Финансирование*», где указать полное наименование организации, при финансовой поддержке которой выполнена работа, и номер гранта (договора).

Далее приводится раздел «*Сведения об авторах*», в котором указывают полное ФИО каждого автора, его ученая степень, ученое звание, должность, место работы, идентификатор ORCID (если имеется), электронная почта автора.

После сведений об авторах приводится раздел «*Авторский вклад*», который не является обязательным. Однако, рецензент или редакция может попросить конкретизировать вклад каждого автора в представленную к публикации рукопись.

Обязательным является раздел «*Конфликт интересов*», где авторы заявляют о наличии или отсутствии конфликта интересов в любой сфере, связанной с темой статьи.

Далее в статье приводятся «*References*» оформленный в соответствии с Harvard Style и переводы на английский язык разделов Сведения об авторах (Information about the authors), Авторский вклад (Contribution of the authors) и Конфликт интересов (Conflicts of interests).

Оформление списка литературы

В соответствии с требованиями баз цитирования в конце рукописи необходимо приводить два списка – «Список литературы» и «*References*», которые располагаются под соответствующими заголовками.

Рекомендуемое количество цитируемых работ – не менее 20. Обязательно следует цитировать литературу, изданную в последние десять лет, а также избегать чрезмерного самоцитирования.

В списке литературы приводятся только опубликованные материалы, включая электронные издания. Ссылки на диссертации и авторефераты не рекомендуются, их следует заменить на опубликованные работы автора. Следует по возможности избегать цитирования малодоступных источников – сборников трудов конференций, депонированных рукописей и т.п. Источники в списке литературы располагают в порядке цитирования, в тексте рукописи указывается номер источника в квадратных скобках, например, [5], [5, 6], [7–10], [1, 3–5], [1, 3, 4].

Источники в списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. В *References* указываются те же источники, что и в списке литературы и оформляются в соответствии со стандартом Harvard. Подробный образец оформления доступен на сайте ПГНИУ (psu.ru) в разделе Наука – Научные журналы – Методические материалы, а также на сайте журнала (press.psu.ru) в разделе Отправка статей.

При подготовке *References* следует учитывать правила:

– Если цитируемая работа написана на языке, использующем романский алфавит (английский, немецкий, итальянский и т.п.), то ссылку следует привести на оригинальном языке. Если цитируемая работа написана не на латинице (кириллица, иероглифы и т.п.), то необходимо привести официальный перевод или самостоятельный перевод (парафраз) на английский язык.

– Если у цитируемой работы существует официальный англоязычный вариант названия, то следует указать его. Если официального перевода нет или найти его не удастся, то необходимо привести самостоятельный перевод, в этом случае сначала приводится транслитерация, а затем в квадратных скобках парафраз.

– Если у журнала существует официальный англоязычный вариант названия или переводная версия, то следует указать его. Если официального перевода нет, то необходимо привести транслитерацию названия.

– При подготовке ссылки следует указывать перевод на английский язык места издания и транслитерацию названия издательства.

– Если цитируемая работа не англоязычная, то есть требовался перевод или транслитерация названия, то в конце ссылки необходимо указать идентификатор языка первоисточника, например (in Russian), (in German) и т.п.

– Во всех случаях при транслитерации рекомендуется использовать стандарт BSI (British Standard Institute, UK).

Примеры оформления Списка литературы и References

1. Статья на английском языке в англоязычном журнале

Murakami Y., Hiraiwa K., Sasaki Y., Fujiwara I., Tagashira S. Surfactant gel adsorption of platinum (II), (IV) and palladium (II) as chloro-complexes and kinetic separation of palladium from platinum using EDTA // *Analytical sciences*. 2007. V. 23, № 9. P. 1147–1149.

Murakami, Y., Hiraiwa, K., Sasaki, Y., Fujiwara, I., and Tagashira, S. (2007) “Surfactant gel adsorption of platinum (II), (IV) and palladium (II) as chloro-complexes and kinetic separation of palladium from platinum using EDTA”, *Analytical sciences*, vol. 23, no. 9, pp. 1147–1149.

2. Статья в русскоязычном журнале, имеющем переводную версию на английском языке или статья на русском языке, имеющая официальный перевод названия, опубликованная в журнале, имеющем официальное англоязычное название (можно найти на сайте журнала или в базах данных):

Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Высаливание бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата калия солями аммония как основа разработки процессов мицеллярной экстракции // *Журнал общей химии*. 2015. Т. 85, № 11. С. 1918–1923.

Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova, O.S. (2015), “Salting out of potassium bis(alkylpolyoxyethylene) phosphate with ammonium salts as the base of micellar extraction processes development”, *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 85, no. 11, pp. 2657–2662 (in Russian).

3. Статья на немецком языке, опубликованная в немецкоязычном журнале

Hofmeister F. Zur Lehre von der Wirkung der Salze // *Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*. 1988. V. 24. P. 247–260.

Hofmeister, F. (1888) “Zur Lehre von der Wirkung der Salze”, *Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*, vol. 24, pp. 247–260 (in German).

4. Статья на русском языке, не имеющая официального перевода названия, опубликованная в журнале, не имеющем официальное англоязычное название:

Горденчук А.Д., Елохов А.М., Кудряшова О.С. Влияние ряда параметров на процесс кристаллизации формиата кальция // *Вестник Технологического университета*. 2017. Т. 20, № 22. С. 9–12.

Gordenchuk, A.D., Elokhov, A.M. and Kudryashova, O.S. (2017) Vliyaniye ryada parametrov na protsess kristallizatsii formiata kal'tsiya [Influence of a number of parameters on the crystallization of calcium formate], *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, vol. 20, no. 22, pp. 9–12 (in Russian).

5. Книги, монографии с авторами

Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Саратов. ун-т, 1969. 240 с.

Nikurashina, N.I. and Mertslyn, R.V. (1969) *Metod secheniy. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnyh sistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov (in Russian).

6. Книги без авторов под общей редакцией

Поверхностно-активные вещества и композиции. Справочник / под ред. М.Ю. Плетнева. М.: Фирма Кламель, 2002. 715 с.

Pletnev, M.Yu. (ed.) (2002) *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva i kompozitsii. Spravochnik* [Surfactants and compositions. Handbook], Firma Klavel, Moscow (in Russian).

7. Главы в книге

Yamini Y., Feizi N., Moradi M. Surfactant-Based Extraction Systems // *Liquid-Phase Extraction* / Poole C.F., editor. Elsevier, 2020. P. 209–239.

Yamini, Y., Feizi, N. and Moradi, M. (2020) Surfactant-Based Extraction Systems. In: Poole, C.F. (ed.) *Liquid-Phase Extraction*, Elsevier, pp. 209–239.

8. Патенты

Состав для предотвращения наледи на дорогах: патент 2127293 Российская Федерация / Дубиновский М.З., Войтович В.А., Мухина Е.В., Исаков А.Е.; заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью "Ассоциация Легхим". – № 98101338/04; заявл. 20.01.1998; опублик. 10.03.1999, бюл. 25. – 5 с.

Dubinovsky, M.Z., Voitovich, V.A., Mukhina, E.V. and Isakov, A.E. (1999) *Sostav dlya predotvrashcheniya naledi na dorogakh* [Composition for the prevention of ice on roads], Russia, RU, Pat. 2127293 (in Russian).

Научное издание

Вестник Пермского университета. Серия «Химия» =

= Bulletin of Perm University. CHEMISTRY

Том 14 (2024)

Выпуск 1

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка *А.М. Елохов*
Дизайн обложки *И.В. Машевская*

Адрес учредителя и издателя:
614068, Пермский край,
г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Адрес редакции:
614068, Пермский край,
г. Пермь, ул. Букирева, д. 15,
Химический факультет
Тел. +7 (342) 239-67-08;
e-mail: chemvestnik@psu.ru

Подписано в печать 02.04.2024. Выход в свет 03.04.2024
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 4,19. Тираж 500 экз. Заказ 56



Пермский государственный национальный исследовательский университет

Управление издательской деятельности

614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-66-36

Отпечатано в типографии ПГНИУ. Тел. (342) 239-65-47

Распространяется бесплатно и по подписке.

Подписка на журнал осуществляется через сайт подписного агентства «Урал-пресс»
https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8650360/?sphrase_id=396138. Подписной индекс 41026