



<https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i08.022>

TEMIR(III) IONINING IMMOBILLANGAN NITROZO-R-TUZI BILAN KOMPLEKSINING FIZIK-KIMYOVIY VA ANALITIK TAVSIFLARI

Xolboyeva Muyassar Babayorovna

O‘zbekiston Milliy universiteti analitik kimyo kafedrası mustaqil izlanuvchisi (PhD),

O‘zbekiston, Toshkent sh, E-mail: xolboyevamuyassar89@gmail.com

Ziyayev Dilshod Abdullayevich

O‘zbekiston Milliy universiteti analitik kimyo kafedrası dotsenti, k.f.d.,

O‘zbekiston, Toshkent sh, E-mail: dil_analitik@mail.ru

Todjiyev Jamoliddin Nasiriddinovich

O‘zbekiston Milliy universiteti analitik kimyo kafedrası dotsenti, k.f.d.

O‘zbekiston, Toshkent sh, E-mail: todjiyev@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada Fe(III) ionining nitrozo-R-tuzi bilan kompleks hosil qilish xususiyatlari hamda reagentni PPF polimer tashuvchisiga immobilizatsiya qilish jarayoni o‘rganilgan. Kompleksning fizik-kimyoviy va analitik tavsiflarini aniqlash uchun Tolmachyovning grafik metodidan foydalanilgan. Tadqiqot natijasida Fe(III)–nitrozo-R-tuzi kompleksining haqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsiyenti $\epsilon_{\text{xaq}} = 8,0 \times 10^4 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ hamda kompleks hosil bo‘lishining muvozanat konstantasi $K_{\text{muv}} = 6,25 \times 10^4$ ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar immobilizatsiyalangan nitrozo-R-tuzi asosida Fe(III) ionlarini sorbsion-spektroskopik usulda aniqlash uchun sezgir va barqaror analitik tizim yaratish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: Fe(III), nitrozo-R-tuzi, PPF, immobilizatsiya, kompleks hosil bo‘lish, molyar so‘ndirish koeffitsiyenti, muvozanat konstantasi, Tolmachyov grafik metodi.

Аннотация. В данной статье изучены особенности комплексообразования ионов Fe(III) с нитрозо-R-солью, а также процесс иммобилизации реагента на полимерном носителе ППФ. Для определения физико-химических и аналитических характеристик комплекса использован графический метод Толмачёва. В результате исследований установлено, что истинный молярный коэффициент поглощения комплекса Fe(III)–нитрозо-R-соль составляет $\epsilon_{\text{ист}} = 8,0 \times 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, а константа равновесия комплексообразования $K_p = 6,25 \times 10^4$. Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания чувствительной и устойчивой аналитической системы для сорбционно-спектроскопического определения ионов Fe(III) на основе иммобилизованной нитрозо-R-соли.

Ключевые слова: Fe(III), нитрозо-R-соль, ППФ, иммобилизация, комплексообразование, молярный коэффициент поглощения, константа равновесия, графический метод Толмачёва.

Abstract. This article investigates the complexation of Fe(III) ions with Nitroso-R salt and the immobilization of the reagent on a PPF polymer carrier. The Talmachev graphical method was used to determine the physicochemical and analytical characteristics of the complex. The true molar absorptivity of the Fe(III)–Nitroso-R salt complex was found to be $\varepsilon_{\text{true}} = 8.0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, while the equilibrium constant of complex formation was $K_{\text{eq}} = 6.25 \times 10^4$. The obtained results demonstrate the potential for developing a sensitive and stable analytical system for the sorption-spectroscopic determination of Fe(III) ions based on immobilized Nitroso-R salt.

Keywords: Fe(III), Nitroso-R salt, PPF, immobilization, complexation, molar absorptivity, equilibrium constant, Talmachev graphical method.

Kirish. Temir atrof-muhit va tabiiy suv obyektlarida keng tarqalgan elementlardan biri bo‘lib, uning Fe(II) va Fe(III) shakllarini aniqlash ekologik monitoringda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli temir ionlarini mikro miqdorlarda aniqlash uchun sezgir, selektiv va tezkor analitik usullarni ishlab chiqishga katta e‘tibor qaratilmoqda. Spektrofotometrik usullar soddaligi, tezkorligi va nisbatan arzonligi sababli ushbu maqsadda keng qo‘llaniladi [1]. Temirni spektrofotometrik aniqlashda 1,10-fenantrolin, ferrozoin, 2,2'-bipiridin va boshqa xromogen reagentlardan foydalaniladi. Ushbu reagentlar bilan hosil bo‘ladigan rangli komplekslarning optik zichligi temir konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘lib, miqdoriy aniqlash kalibrlash grafigi asosida amalga oshiriladi. Bunda kompleks hosil bo‘lish sharoiti, molyar yutilish koeffitsienti va begona ionlarning ta’siri muhim analitik omillar hisoblanadi [2, 3]. Ayniqsa, Fe(III) ning yuqori konsentratsiyasi Fe(II) ni aniqlashga xalaqit berishi mumkinligi va bunday ta’sirni maskalash orqali kamaytirish mumkinligi aniqlangan [4]. Fe(III) ni aniqlashda nitrozoreagentlar, xususan, Nitroso-R tuzi yuqori analitik faolligi bilan ajralib turadi. Ushbu reagent Fe(III) bilan rangli kompleks hosil qilib, spektrofotometrik aniqlash imkonini beradi [5, 6]. Nitrozo-R asosidagi usullarda optimal sharoit sifatida odatda pH 5–5,5 va 720 nm to‘lqin uzunligi qayd etilgan. Biologik namunalarni tahlil qilishda ham mazkur reagent yordamida yuqori molyar yutilish ko‘rsatkichlariga ega komplekslar olingan [7, 8]. Nitrozo-R reagentining suv namunalaridagi temirni aniqlash imkoniyatlari ham o‘rganilgan. Bunday usullarda korrelyatsiya koeffitsienti 0,9997, aniqlash chegarasi $6,7 \times 10^{-8}$ mol/l, miqdoriy aniqlash chegarasi esa $2,0 \times 10^{-7}$ mol/l gacha yetgan [9]. Oqim-inyeksion spektrofotometrik usulda esa Fe(III) ni aniqlashning 0,05–4,0 mkg/ml chiziqli sohasi va $R = 0,9997$ qiymati aniqlangan [10]. Mikrooqim tizimlaridan foydalanish esa reagent va namuna sarfini kamaytirish hamda tahlil jarayonini tezlashtirish imkonini bergan [11].

Shu bilan birga, eritma fazasidagi usullarda reagent sarfi va murakkab namuna matritsasining ta’siri kabi ayrim cheklovlar mavjud. Ushbu muammolarni kamaytirish maqsadida reagentlarni qattiq fazaga immobilizatsiya qilishga asoslangan sorbsion-spektrofotometrik usullar rivojlantirilmoqda. Qattiq fazali tizimlar analitni sorbsion

konsentrlash, reagent sarfini kamaytirish va aniqlash sezgirligini oshirish imkonini beradi [12, 13]. Organik reagentlarning polimer va boshqa qattiq tashuvchilarga immobilizatsiya qilinishi ularning lokal konsentratsiyasini oshirib, metall ionlari bilan kompleks hosil bo‘lishini tashuvchi yuzasida amalga oshirish imkonini beradi [14]. Immobilizatsiyalangan reagentning eritma fazasidagi reagentga nisbatan selektivligi va sezgirligi yuqoriligi ko‘rsatilgan [15]. Shuningdek, polimer tashuvchilarga immobilizatsiyalangan reagentlardan foydalanish bo‘yicha tadqiqotlarda tabiiy suv namunalarida Fe(III) ni aniqlash, natijalarning ishonchliligini statistik mezonlar yordamida baholash va hosil bo‘lgan tizimlarni fizik-kimyoviy usullar bilan tavsiflash imkoniyatlari ko‘rsatilgan [16]. Immobilizatsiyalangan Nitrozo-R asosidagi tizimlarning boshqa metall ionlarini aniqlashda ham samarali ekanligi aniqlangan. Biroq Fe(III), Ni(II) va Co(II) kabi ionlarning xalaqit berishi mumkinligi sababli selektivlikni oshirish uchun maskalovchi reagentlardan foydalanish zarurligi qayd etilgan [17]. Umuman, adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, Nitroso-R tuzi Fe(III) ni spektrofotometrik aniqlash uchun samarali xromogen reagent hisoblanadi [5–10]. Reagentni qattiq fazaga, xususan, polimer tolalarga immobilizatsiya qilish esa sorbsion konsentrlash, reagent sarfini kamaytirish, selektivlik va sezgirlikni oshirish imkonini beradi [12–17]. Shu sababli Fe(III) ionlarini immobilizatsiyalangan Nitroso-R asosida sorbsion-spektrofotometrik aniqlash sharoitlarini takomillashtirish, analitik va metrologik ko‘rsatkichlarini baholash dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [18].

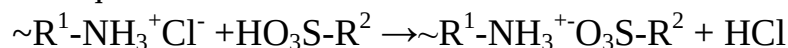
EKSPERIMENT VA OLINGAN NATIJALAR TAHLILI

Fe(III) ionining nitrozo-R-tuzi (NRT) bilan kompleks hosil qilish reaksiyasini chuqurroq tavsiflash maqsadida kompleksning asosiy analitik va fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari, jumladan, haqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsiyenti (ϵ) va barqarorlik konstantasi (K_{muv}) Tolmachyovning grafik metodi yordamida aniqlandi. Hisoblashlarda dastlabki tajribalarda olingan barcha analitik natijalar hisobga olindi. PPF tashuvchisiga nitrozo-R-tuzini immobilizatsiya qilish va undan keyin Fe(III) ionlarini sorbsiyalash jarayoni bosqichma-bosqich amalga oshirildi.

Birinchi bosqich — polimer tashuvchini ion shakliga o‘tkazish. Bunda 0,2000 g PPF polimer tashuvchi ($\sim R^1-NH_2^-$) 50 ml li kolbaga joylashtirilib, unga 20 ml 0,1 N HCl eritmasi qo‘shildi. Aralashma xona haroratida 24 soat davomida saqlandi. Jarayon natijasida polimerning aminoguruhlarini protonlanib, ($\sim R^1-NH_3^+Cl^-$) ion shakli hosil bo‘ldi: $\sim R^1-NH_2 + HCl \rightarrow \sim R^1-NH_3^+Cl^-$

24 soatdan so‘ng tashuvchi distillangan suv bilan neytral muhitgacha ($pH=7$) yuvildi.

Ikkinchi bosqich — nitrozo-R-tuzini PPF tashuvchisiga immobilizatsiya qilish. Sig‘imi 50,0 ml bo‘lgan kolbaga 0,001 M nitrozo-R-tuzi eritmasi va 0,2000 g faollashtirilgan PPF ($\sim R^1-NH_3^+Cl^-$) qo‘shildi. Natijada nitrozo-R-tuzining sulfoguruhlarini polimerning protonlangan aminoguruhlarini bilan elektrostatik ta’sirlashib, immobilizatsiyalangan ($\sim R^1-NH_3^+-O_3S-R^2$) shaklini hosil qiladi:



Hosil bo‘lgan immobilizatsiyalangan polimer distillangan suv bilan yuvilib, xona haroratida quritildi. Mazkur jarayonda nitrozo-R-tuzining sulfoguruhi va polimerning

protonlangan aminoguruhi o‘rtasidagi elektrostatik ta’sirlashuv immobilizatsiyaning asosiy mexanizmini tashkil etadi.

Uchinchi bosqich — Fe(III) ionlarining sorbsiyasi va kompleks hosil bo‘lishini o‘rganish. Fe(III) ionlarining immobilizatsiyalangan nitrozo-R-tuzi bilan modifikatsiyalangan PPF tashuvchisi bilan o‘zaro ta’siri statik sharoitda o‘rganildi. Buning uchun 0,0001 M Fe(III) ionining standart eritmasi immobilizatsiyalangan $\sim R^1-NH_3^+-O_3S-R^1$ tashuvchisi bilan aralashtirildi. O‘zaro ta’sirlashuv natijasida Fe(III) ionlari reagentning funksional guruhlar bilan kompleks hosil qilib, immobilizatsiyalangan Fe(III) kompleksini $\sim R^1-NH_3^+-O_3S-R^2-Fe$ ni hosil qiladi: $\sim R^1-NH_3^+-O_3S-R^2+Fe^{3+} \rightarrow \sim R^1-NH_3^+-O_3S-R^2-Fe$

Sorbsiya jarayonida Fe(III) ionining immobilizatsiyalangan nitrozo-R-tuzi tarkibidagi faol funksional guruhlar bilan kimyoviy ta’sirlashuvi natijasida kompleks birikma hosil bo‘lishi kuzatiladi.

Fe(III)–nitrozo-R-tuzi kompleksining hosil bo‘lish sharoitlari va barqarorligini miqdoriy baholash uchun Tolmachyovning grafik metodidan foydalanildi. Ushbu usul yordamida kompleksning haqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsiyenti (ϵ) hamda barqarorlik konstantasi (K_{mv}) aniqlandi.

Tadqiqotda Fe(III) ion va nitrozo-R-tuzining 1:1 stexiometrik nisbatda kompleks hosil qilishi asos qilib olindi. Buning uchun 25 ml hajmli o‘lchov kolbalariga 1×10^{-4} M konsentratsiyali nitrozo-R-tuzi eritmasi va Fe(III) ionining tegishli hajmdagi standart eritmasi belgilangan stexiometrik nisbatlarda olindi. Har bir kolbaga pH=5,5 bo‘lgan atsetatli bufer eritmasidan 5 ml qo‘shilib, eritmalar distillangan suv bilan belgisigacha suyultirildi. Tayyorlangan eritmalar bir xil sharoitda ushlab turilib, kompleksning optik zichligi spektrofotometrik usulda o‘lchandi. Olingan absorbans qiymatlari asosida Tolmachyov grafik bog‘lanishi tuzildi. Grafikning qiyaligi va kesishish parametrlaridan foydalanib, Fe(III)–nitrozo-R-tuzi kompleksining haqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsiyenti hamda barqarorlik konstantasi hisoblandi.

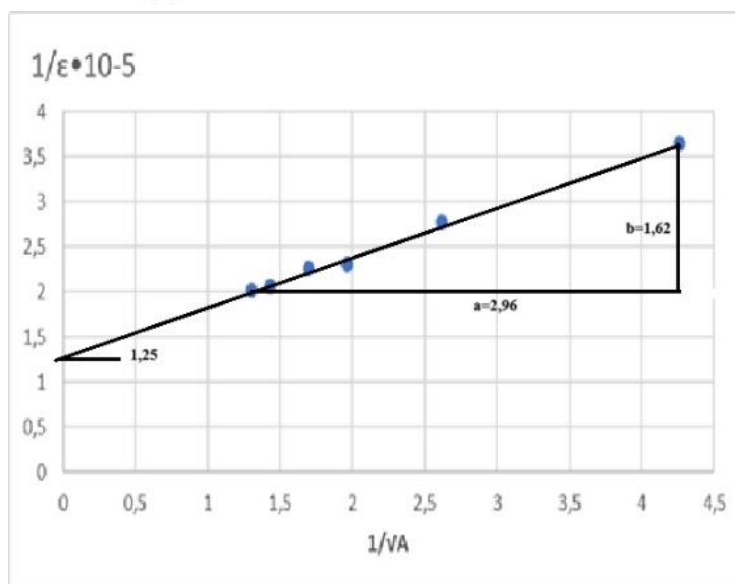
1-jadval

Kompleks birikmaning molyar so‘ndirish koeffitsiyenti Tolmachyovning grafik usuli orqali aniqlash natijalar

№	Fe (III) ml	HR ml	$\bar{A}$	$\sqrt{A}$	$1/\sqrt{A}$	$C_{Fe^{3+}} \cdot 10^{-6}$	ϵ	$1/\epsilon \cdot 10^{-5}$
1.	0,5	0,5	0,055	0,235	4,26	2,0	27500	3,64
2.	1,0	1,0	0,145	0,381	2,62	4	36250	2,78
3.	1,5	1,5	0,26	0,509	1,96	6	43330	2,31
4.	2,0	2,0	0,345	0,587	1,70	8	43125	2,26
5.	2,5	2,5	0,484	0,695	1,43	10	48400	2,06
6.	3,0	3,0	0,594	0,770	1,30	12	49500	2,02

$$tg\alpha = \frac{b}{a} = \frac{1,62 \cdot 10^{-5}}{2,96} = 5,47 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{xaq} = \frac{1}{\frac{1}{E} \cdot 10^{-n}} = \frac{1}{1.25 \cdot 10^{-5}} = 8.0 \cdot 10^4$$



1-rasm. Temir (III) va immobillangan nitrozo-R-tuzi kompleksining molyar so‘ndirish koeffitsiyenti va muvozanat konstantasini Tolmachyovning grafik usuli ($1/E - 1/\sqrt{A}$) orqali aniqlash

$$tg\alpha = \frac{b}{a} = \frac{1,62 \cdot 10^{-5}}{2,96} = 5,47 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{xaq} = \frac{1}{\frac{1}{E} \cdot 10^{-n}} = \frac{1}{1.25 \cdot 10^{-5}} = 8.0 \cdot 10^4$$

Molyar so‘ndirish koeffitsiyenti asosida K_{muv} ni hisoblasak bo‘ladi

C_H^n □ vodorod ionlari konsentratsiyasi;

ℓ □ kyuveta qalinligi 1,0 sm;

E_{xaq} .- kompleksning xaqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsiyenti ;

n □ stixiometrik koeffitsiyent.

b □ $tg\alpha$

$$K_{muv} = \frac{C_H^n \cdot \ell^n}{n^n \cdot \varepsilon_x \cdot b^{n+1}}$$

$$K_{muv} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4} \cdot 1}{1^1 \cdot 8,0 \cdot 10^4 \cdot (5,47 \cdot 10^{-7})^2} = 1,32 \cdot 10^4$$

Hisoblangan ε_{xaq} ba K_{muv} larning son qiymatlariga solishtirilganda, ishlab chiqilgan usulning yaxshi sezgirlikka, kompleks birikmaning barqarorlik ko‘rsatkichi esa birmuncha yuqori ekanligi namoyon bo‘ldi.

XULOSA

Tadqiqot davomida Fe(III) ionining nitrozo-R-tuzi bilan kompleks hosil qilish xususiyatlari hamda reagentni PPF polimer tashuvchisiga immobilizatsiya qilish jarayoni

o‘rganildi. Nitrozo-R-tuzining sulfoguruhleri va polimer tashuvchining protonlangan aminoguruhleri o‘rtasidagi elektrostatik ta’sirlashuv natijasida barqaror immobilizatsiyalangan analitik tizim hosil qilindi. Modifikatsiyalangan sorbentning Fe(III) ionlari bilan o‘zaro ta’sirlashuvi natijasida kompleks birikma hosil bo‘lishi aniqlandi. Tolmachyovning grafik metodi yordamida Fe(III)–nitrozo-R-tuzi kompleksining haqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsiyenti $\varepsilon_{\text{xaq}} = 8,0 \times 10^4 \cdot \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ ga tengligi aniqlandi. Ushbu qiymat asosida kompleks hosil bo‘lishining muvozanat konstantasi hisoblanib, $K_{\text{muv}} = 6,25 \cdot 10^4$ qiymatga egaligi belgilandi. Olingan natijalar Fe(III) ionining nitrozo-R-tuzi bilan yetarlicha barqaror va yuqori optik xususiyatga ega kompleks hosil qilishini ko‘rsatadi va Fe(III)–nitrozo-R-tuzi kompleksining yuqori molyar so‘ndirish koeffitsiyenti va muvozanat konstantasi mazkur reaksiyaning analitik imkoniyatlari yuqori ekanligini hamda immobilizatsiyalangan reagent asosida Fe(III) ionlarini sorbsion-spektroskopik usulda aniqlashda qo‘llash mumkinligini asoslaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Review of the research on the determination of trace iron with spectrophotometry. *Metallurgical Analysis*, 2014. DOI: 10.13228/j.issn.1000-7571.2014.01.006.
2. Bou-Abdallah F., et al. Complexation of ferrous ions by ferrozine, 2,2'-bipyridine and 1,10-phenanthroline: Implication for the quantification of iron in biological systems. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2021.
3. Bujard H. et al. Chemical tools for detecting Fe ions. *Metallomics*, 2017.
4. Zhu J., Yang X., Fan F., Li Y., et al. Factors affecting the determination of iron species in the presence of ferric iron. *Applied Water Science*, 2018, 8, 228. DOI: 10.1007/s13201-018-0876-6.
5. Sideris C.P., Young H.Y., Chun H.H.Q. Improvements in Determination of Iron by Nitroso R Salt Method. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, 1944, 16(4), 276. DOI: 10.1021/i560128a019.
6. Dean J.A. Colorimetric Determination of Iron with Nitroso R Salt. *Analytical Chemistry*, 1953, 25(6), 947–949. DOI: 10.1021/ac60078a028.
7. Ness A.T., Dickerson H.C. The determination of serum iron by nitroso-R-salt without deproteinization. *Clinica Chimica Acta*, 1965, 12(5), 579–588. DOI: 10.1016/0009-8981(65)90176-2.
8. Simplified determination of serum iron and binding capacity by nitroso-R-salt without deproteinization. *Clinica Chimica Acta*, 1973, 43(1), 73–80. DOI: 10.1016/0009-8981(73)90120-4.
9. Zhang T.-M., Cheng F., Sun T., Wang Y.-J., Zhou C., Zhu H.-Q., Li Y.-G. A simple, sensitive and selective spectrophotometric method for determining iron in water samples. *Microchemical Journal*, 2021.
10. Senee K., Thanasarakhan W., Tengjaroenkul U., Liawruangrath B., Liawruangrath S. A Simple Flow Injection Spectrophotometric Determination of Iron Using Nitroso-R Salt as Complexing Agent. *Journal of Flow Injection Analysis*, 2007, 24(2), 114–

118. DOI: 10.24688/jfia.24.2_114.

11. Senec K., et al. A simple and green analytical method for determination of iron based on micro flow analysis. *Talanta*, 2007, 73(1), 46–53. doi: 10.1016/j.talanta.2007.02.032.

12. Alberti G., Emma G., Colleoni R., Nurchi V.M., Pesavento M., Biesuz R. Simple solid-phase spectrophotometric method for free iron(III) determination. *Arabian Journal of Chemistry*, 2014. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.08.017.

13. Miranda J.L.A., Mesquita R.B.R., Nunes A., Rangel M., Rangel A.O.S.S. Determination of iron(III) in water samples by microsequential injection solid phase spectrometry using an hexadentate 3-hydroxy-4-pyridinone chelator as reagent. *Talanta*, 2019, 191, 409–414. DOI: 10.1016/j.talanta.2018.08.063.

14. Reshetnyak E.A., Ivchenko N.V., Nikitina N.A. Photometric determination of aqueous cobalt(II), nickel(II), copper(II) and iron(III) with 1-nitroso-2-naphthol-3,6-disulfonic acid disodium salt in gelatin films. *Central European Journal of Chemistry*, 2012, 10(5), 1617–1623. doi: 10.2478/s11532-012-0081-7.

15. Kholboeva M.B., Smanova Z.A., Madatov U.A., Rakhimov S.B., Orzikulov B.T., Nomozov A.K., Uralova M.R. Determination of Fe(III) ion with a novel, highly efficient immobilized nitrosa R-salt in a polymer matrix. *Chemical Review and Letters*, 2025, 8, 448–459. doi: 10.22034/crl.2025.496212.1505.

16. Davronova N.F., Smanova Z.A. The development of new methods for detecting iron ions in water and conducting quantitative analysis of these ions. *American Journal of Applied Science and Technology*, 2024. doi: 10.37547/ajast/Volume04Issue12-10.

17. Madusmanova N.K., et al. Determination of Mn(II) ions in soil samples by means of a sensitive sorption-spectroscopic method. *Talanta*, 2026, 297, 128770. doi: 10.1016/j.talanta.2025.128770.

18. Vinay B.K., Surya B., Tejashree V., Suranjan T.R. Optical sensing techniques for iron detection in aqueous solutions: a comprehensive review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2026. doi: 10.1080/03067319.2026.2633770.