

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.03/30.12.2019.K.01.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI**

**RO‘ZMETOV UCHQUN O‘RUNBOYEVICH**

**ATROF-MUHIT OBYEKTLARIDAN Fe(III), Cu(II) VA Zn(II) IONLARINI  
ANIQLASHNING GIBRID SORBSION-SPEKTROSKOPIK USULLARINI  
ISHLAB CHIQISH VA VALIDATSIYASI**

**02.00.02 – Analitik kimyo  
(kimyo fanlari)**

**KIMYO FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

**Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора науки (DSc)**  
**Content of the abstract dissertation of doctor of sciences (DSc)**

**Ro‘zmetov Uchqun O‘runboyevich**

Atrof-muhit obyektlaridan Fe(III), Cu(II) va Zn(II) ionlarini aniqlashning gibridd sorbtсион-spektroskopik usullarini ishlab chiqish va validatsiyasi. . . . . 3

**Рузметов Учкун Урунбоевич**

Разработка и валидация гибридных сорбционно-спектроскопических методов определения ионов Fe(III), Cu(II) и Zn(II) в объектах окружающей среды. . . . . 29

**Ruzmetov Uchkun Urunboyevich**

Development and validation of hybrid sorption-spectroscopic methods for determining Fe(III), Cu(II) and Zn(II) ions in environmental objects. . . . . 55

**E‘lon qilingan nashrlar ro‘uxati**

Список опубликованных работ  
List of published works. . . . . 59

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.03/30.12.2019.K.01.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI**

**RO‘ZMETOV UCHQUN O‘RUNBOYEVICH**

**ATROF-MUHIT OBYEKTLARIDAN Fe(III), Cu(II) VA Zn(II) IONLARINI  
ANIQLASHNING GIBRID SORBTSION-SPEKTROSKOPIK  
USULLARINI ISHLAB CHIQISH VA VALIDATSIYASI**

**02.00.02 – Analitik kimyo  
(kimyo fanlari)**

**KIMYO FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

**Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.2.DSc/K157 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

Doktorlik dissertatsiyasi O‘zbekiston Milliy universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi ([www.ik-kimyo.nuuz.uz](http://www.ik-kimyo.nuuz.uz)) va « Ziyonet » Axborot ta’lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy maslahatchi:**

**Smanova Zulayho Asanaliyevna,**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Sultonov Marat Mirzayevich**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Usmonova Hilola Umataliyevna,**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Abdurahmonov Ilhom Ergashovich,**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot:**

**Umumiy va noorganik kimyo instituti**

Dissertatsiya himoyasi O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.K.01.03 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ soat \_\_\_\_\_ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100174, Toshkent, Universitet ko‘chasi, 4-uy. Tel.: (+99871) 246-07-88, faks: (+99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: [ilmiy\\_kengash@nuu.ru](mailto:ilmiy_kengash@nuu.ru)).

Dissertatsiya bilan O‘zbekiston Milliy universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (\_\_\_\_\_ raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100174, Toshkent, Universitet ko‘chasi, 4-uy. Tel.: (+99871) 246-07-88; 277-12-24, факс (+99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: [nauka@nuu.uz](mailto:nauka@nuu.uz)).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ kuni tarqatildi.  
(2024 yil «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ dagi \_\_\_\_\_ raqamli reyestr bayonnomasi).

**Sh.Sh. Daminova**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
raisi o‘rinbosari, k.f.d., professor

**N.X. Qutlimurotova**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
ilmiy kotibi, k.f.d., professor

**B.N. Babayev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi  
k.f.d., professor

## KIRISH (doktorlik dissertatsiyasi avtoreferati)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Butun dunyoda atrof-muhit obyektlarida konsentrlangan og‘ir metallar ekotizimlarni ifloslanishi natijasida inson salomatligiga katta xavf tug‘dirib, turli xil kasalliklar kelib chiqishiga sabab bo‘lmoqda. Bunday muammolarni hal qilishda dastlab og‘ir va zaharli metall ionlari aniqlash va ajratish zarurdir. Oqava, dengiz, daryo va chiqindi suvlardagi metall ionlarini ajratishda turli xil ion almashuvchi sorbentlarni qo‘llash mumkin. Ammo tuproq, xavo va boshqa atrof muhit obyektlari tarkibidagi metallarni aniqlashda esa dastlab aniqlash, so‘ngra ajratish sxemasimi yaratish va ajratish amalga oshiriladi. Shuning uchun og‘ir metallarni aniqlash va ajratish jarayonini birgalikda qo‘llanilgan gibrid usullarini ishlab chiqish dolzarb bo‘lib iqtisodiy samaradorlikka olib keladi hamda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Jahonda og‘ir va zaharli metallarni ajratish va aniqlash bo‘yicha ekstraksiyon, spektroskopik va xromatografik usullarni ishlab chiqish bo‘yicha katta izlanishlar olib borilmoqda. Shu o‘rinda sezgirlik va tanlab ta’sir etuvchanlikni oshirish uchun tashuvchilarga turli xil funksional va analitik funksional analitik guruhlar tutgan organik reagentlar bilan immobillash orqali gibrid sorbsion-spektroskopik tahlil usullari ishlab chiqish orqali usulning metrologik tavsiflari va analitik parametrlar oshirishda muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi. Bu usullar sorbsiya va spektroskopiyaning afzalliklarini samarali birlashtirgan istiqbolli yechimni ifodalaydi. Ushbu usullar yuqori sezgir va tanlab ta’sir qilish imkonini beradi, namuna tayyorlashni soddalashtiradi va tadqiqot xarajatlarini kamaytiradi. Ushbu afzalliklar ularni dunyoning turli geografik mintaqalarida, jumladan, murakkab uskunalardan foydalanish cheklangan joylarda atrof-muhit monitoringi dasturlari uchun mos keladi. Birmuncha qimmat uskunalar induktiv bog‘langan plazma atom-emission spektroskopiyasi (ICP-AES), induktiv bog‘langan plazma mass spektrometriyasi (ICP-MS) kabi murakkab tuzilishli uskunalar yuqori malakali mutaxassisni va boshqa murakkab na’munalarni tayyorlashni talab qiladi, bu ularni ayniqsa, rivojlanayotgan mamlakatlarda keng qo‘llash uchun amaliy yechim bo‘lolmaydi. Ishlab chiqilgan usullarni tekshirish ularning turli sharoitlarda ishonchliligi va qayta takrorlanuvchanligini ta’minlash uchun katta ahamiyatga ega. Bunday holda aniqlik, sezgirlik va selektivlik kabi parametrlarni baholash mumkin, bu esa atrof-muhitni tahlil qilishning xalqaro amaliyotida ko‘rib chiqilayotgan usullarni muvaffaqiyatli qo‘llash uchun juda muhimdir. Shunday qilib butun dunyo bo‘ylab ekologik xavfsizlikni ta’minlash va aholi salomatligini muhofaza qilish zarurligini hisobga olgan holda, atrof-muhit obyektlarida Fe(III), Cu(II) va Zn(II) ionlarini aniqlashning gibrid sorbsion-spektroskopik usullarini ishlab chiqish va validatsiyasi nafaqat ilmiy doiralarda, balki global miqyosda ham dolzarbdir.

Respublikamizda kimyo sanoati korxonalarining chiqindi va texnogen suvlari tarkibidan mis, rux va temir ionlarini ajratish va aniqlash borasida qulay, tezkor va iqtisodiy samarador usullarni ishlab chiqish bo‘yicha ilmiy tadqiqot ishlarini olib borish uchun qulay shart-sharoitlar yaratilmoqda. Mamlakatimizni jadal rivojlantirish bo‘yicha “O‘zbekiston–2030” strategiyasida<sup>1</sup> iqtisodiyotni

---

<sup>1</sup> O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 11-sentabrdagi PF-158-son “O‘zbekiston – 2030 strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni

rivojlantirishning ustuvor yoʻnalishlari belgilangan hamda mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida, yuqori qoʻshilgan qiymatli tayyor mahsulot turlarini koʻpaytirish, sifat jihatdan yangi mahsulot va texnologiya turlarini oʻzlashtirish masalalari alohida belgilab qoʻyilgan. Bu borada, jumladan, atrof-muhit obyektlaridagi turli ogʻir, zaharli metall ionlarini aniqlashning zamonaviy sorbsion-spektroskopik usullarini ishlab chiqishga alohida eʼtibor qaratilmoqda. Mazkur sohada mahalliy xomashyodan maqsadga muvofiq foydalanish va yangi metodlar, ulardan atrof-muhit obyektlaridan mis, rux va temir ionlarini aniqlash boʻyicha ilmiy va amaliy natijalarga erishildi. Ushbu usullarning sezgirligi, samaradorligi, selektivligini oshirish maqsadida sorbsion-spektroskopik usullar rivojlanib bormoqda. Respublikamizda kimyo sanoati chiqindi suvlari tarkibidagi ogʻir metal ionlarini ajratish va aniqlash uchun sezgir, tezkor va qulay usullarni ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega.

Ushbu dissertatsiya tadqiqoti Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarga moʻljallangan Yangi Oʻzbekistonning taraqqiyot strategiyasi toʻgʻrisida”gi PF-60-son Farmonida, Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 30-oktabrdagi “2030-yilgacha boʻlgan davrda Oʻzbekiston Respublikasining atrof-muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash toʻgʻrisida”gi PF-5863-son Farmonida, Oʻzbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 18-fevraldagi “Ekologik xavfsizlik toʻgʻrisidagi umumiy texnik reglamentni tasdiqlash haqida” VM-95-son qarori hamda ushbu sohada qabul qilingan boshqa normativ-huquqiy hujjatlarda nazarda tutilgan vazifalarni bajarishga muayyan xizmat qiladi.

**Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yoʻnalishlariga mosligi.** Mazkur dissertatsiya ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII «Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar» ustuvor yoʻnalishlariga muvofiq bajarilgan.

#### **Dissertatsiya mavzusi boʻyicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi<sup>2</sup>.**

Hozirgi vaqtda ilmiy hamjamiyat ogʻir va zaharli metallar mavjudligini aniqlash uchun ishlatilishi mumkin boʻlgan bir qator usullari mavjud. Biroq, analitik usullarning rivojlanishi bilan elementlarni aniqlashda sezuvchanlik va selektivlikni oshirish zarurati ortadi. Bu esa ushbu ortib borayotgan talablarni qondirish uchun yangi yondashuvlarni izlash zarurligini taqozo etadi. Bunday usullardan biri immobillangan organik reagentlar (IMOR) yordamida gibrid sorbsion-spektroskopik yondashuvdir. Sorbsiya va spektroskopiyani birlashtirgan gibrid usullar yuqori sezuvchanligi va selektivligi tufayli analitik kimyoda tobora ommalashib bormoqda. Ushbu usullar metall ionlarining maqsadli oldindan konsentratsiyasini osonlashtiradi, keyinchalik ular atom-absorbtsion spektroskopiyasi (AAS), ICP-AES va ultrabinafsha, koʻrinadigan spektroskopiya (UV-Vis spektroskopiyasi) kabi spektroskopik usullar yordamida tahlil qilinishi mumkin. Ushbu usullar butun dunyo boʻylab tadqiqot laboratoriyalarida keng qoʻllaniladi, shu jumladan: Massachusetts Institute of Technology (AQSh), ETH

---

<sup>2</sup> Dissertatsiya mavzusi boʻyicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi <http://www.scholar.google.com>, <http://www.sciencedirect.com> va boshqa manbaalar materiallari asosida tayyorlangan

Zurich (Shvetsariya), Helmholtz Centre for Environmental Research (Germaniya), Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Shvetsariya), National Institute of Standards and Technology (AQSh), University of Cambridge (AQSh), Institute of Environmental Assessment and Water Research (Ispaniya), Institute of Environmental Assessment and Water Research (Ispaniya), Lawrence Berkeley National Laboratory (AQSh), Moskva davlat universitetida (Rossiya), Rossiya kimyo-texnologiya universiteti (Rossiya), RFA Analitik kimyo instituti (Rossiya), RFA Umumiy va noorganika instituti (Rossiya), Tsinghua University (Tsinxua, Pekin), Peking University (Pekin), Samarqand Davlat universiteti (O'zbekiston), O'zbekiston milliy universitetida (O'zbekiston).

Dunyo bo'ylab og'ir va zaharli metallarni aniqlash uchun yuqori sezgir kimyoviy sensorlarni yaratishga qaratilgan bir qator istiqbolli yo'nalishlarda tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu ustuvor yo'nalishlar qatoriga zaharli va og'ir metallarni aniqlashning yanada ishonchli, tez va tejamkor usullarini ishlab chiqish kiradi. Butun dunyoda olib borilgan tadqiqotlar natijasida bir qator ilmiy natijalarga erishildi, jumladan: mineral suvlarda mis va ruxning konsentratlash bilan metallarni oldindan ekstraksiyalash bilan atom spektroskopiyasi orqali aniqlangan (Maldova); rux, xrom, kadmiy, mis, nikel, qo'rg'oshin, temir, marganes, magniy va kalsiy induktiv bog'langan plazma atom emissiya spektroskopiyasi (ICP-OES) yordamida aniqlangan (Polsha); Cd, Co ning yangi to'g'ridan-to'g'ri aniqlanishi, Cr, Cu, Mn va Ni atom absorbsion spektroskopiyasi bilan, bunda askorbin va oksalat kislotalarning magniy nitrat bilan birgalikda kimyoviy modifikator sifatidagi imkoniyatlari o'rganilgan (Rossiya); immobillangan azoreagentlar va trifenilmetan bo'yoqlari va piridin yordamida zaharli va og'ir metallarni aniqlashning sorbsion-fotometrik usullari ishlab chiqilgan (O'zbekiston).

Butun dunyoda og'ir va zaharli metallarni aniqlash uchun o'ta sezgir kimyoviy sensorlarni yaratishga yo'naltirilgan bir qancha istiqbolli usullar ustida izlanishlar olib borilmoqda. Ushbu tadqiqotning ustuvor yo'nalishlari og'ir va zaharli metallarni aniqlashning yanada ishonchli, tezroq va tejamkor usullarini ishlab chiqishdir. Zaharli va og'ir metallarni aniqlashning ishonchli, tez va tejamkor usullarini ishlab chiqish, mavjud usullarning sezgirliги, selektivligi va ekspressivligini oshirish, ishlab chiqilgan usullar asosida sezgir sensor qatlamlarini yaratish, shuningdek sanoat muammolarini hal qilish uchun yuqori samarali kichik o'lchamli sensorlarni ishlab chiqish orqali tibbiy, sud-tibbiyot va ekologik muammolar yechishga qaratiladi.

#### **Muammoning o'rganilganlik darajasi.**

Atrof-muhitdagi metall ionlarini tahlil qilishning sorbsion-spektroskopik usullarini ishlab chiqish va tasdiqlash masalasi ko'p o'rganilgan mavzudir. Biroq, ushbu yutuqlarga qaramay, qo'shimcha o'rganishni talab qiladigan sohalar mavjud, xususan, matritsa ta'sirini kamaytirish, sorbent barqarorligini oshirish, ko'p tahlilli va avtomatlashtirilgan tizimlarni ishlab chiqish. Atrof-muhit bilan bog'liq muammolar ortib borayotganidan kelib chiqqan holda, ushbu usullar atrof-muhitni muhofaza qilish va ifloslanishni nazorat qilish bo'yicha global miqiyosda muhim rol o'ynaydi

Turli matritsalarda IMOR yordamida tez, yuqori selektiv sorbsion-

spektroskopik tahlil usullarini ishlab chiqish dunyoning yetakchi ilmiy markazlarida jadal izlanishlar mavzusidir. Ushbu tadqiqot sohasiga quyidagi xorijiy olimlar hissa qo'shgan: Y.A. Zolotov, O.A. Shpigun, T.N. Shexovsova, O.V.Kuznetsova, V.V.Openko, A.V.Danilova, V.P.Dedkova, M.A.Babuev, S.D.Tataeva, S.Tokalioglu, M.Soylak, S.Valas, A. Tobiasz, G.Tsogaz, M.C.Yebra-Biurrun, Bermejo-Barrera A, Sh.Tivari, R.Saksena, Pourreza N, Hoveizavi R og'ir metallar ionlarini aniqlashning sorbsion-spektroskopik va sorbsion-atom-absorbsion usullari sohasida ilmiy tadqiqotlar bilan shug'ullanadi. Ularning tadqiqotlarida organik reagentlar uchun tayanch sifatida turli xil silikagellar, modifikatsiyalangan silikagel, tabiiy zeolitlar, polimer membranalar va boshqa materiallar qo'llanilgan.

Yurtimizda Djijanbayeva R.X., Kabulov B.D., Shesterova I.P., Gevorgyan A.M., Smanova Z.A., Turobov N.T., Abdurahmonov E., Nasimov A.M. va boshqalar tomonidan og'ir metall ionlarini sorbsion-spektroskopik aniqlash bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan. Lekin hozirgacha mis, temir va rux ionlari immobillangan azo va uchfenilmetan asosli bo'yoqlar yordamida sorbsion-spektroskopik, sorbsion-atom-absorbsion aniqlash bo'yicha izlanishlar olib borilmagan.

**Dissertatsiya mavzusi dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Milliy universiteti ilmiy-tadqiqot rejasining fundamental va amaliy loyihalari doirasida amalga oshirildi: F-7-48 "Polimer materiallari yuzasida immobillangan metall nanozarrachalarning faza o'zgarishi mexanizmini o'rganish" (2017-2020 yy.), FZ-20171024243 "Kobalt va temir ionlarini aniqlashda immobillangan azoreagentlarning fizik-kimyoviy xossalari tadqiq etish" (2018-2019 yy.), FZ-201908098 "Kaolinlarni temir oksidlaridan tozalash" (2020-2022 yy.)

**Tadqiqotning maqsadi** atrof-muhit obyektlaridan Fe(III), Cu(II) va Zn ionlarini aniqlashning gibrid sorbsion-spektroskopik usullarini ishlab chiqish va validatsiyasidan iborat.

#### **Tadqiqot vazifalari:**

mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlash uchun selektiv organik reagent va ion almashuvchi sorbent tanlash, organik reagentlarni polimer tashuvchilarda immobillashni optimallashtirish hamda ularning funksional va analitik xususiyatlarini saqlab qolgan holda mis(II), temir(III) va rux ionlarini sorbsion-spektroskopik aniqlashning optimal sharoitlarini tanlash;

ishlab chiqilgan usul xatoligini bartaraf etish uchun fon korreksiyasini tanlash, to'liq uzunliklarini optimallashtirish, kalibrlash uchun standart yechimlar bilan foydalanish, takroriylikni tekshirish uchun nazorat na'munalari bilan foydalanish va natijalarning ishonchliligini oshirish uchun matritsa effektlarini hisobga olish orqali rux, temir va misning aniqlashning sorbsion-spektroskopik tahlilidagi qonuniyatlarini aniqlash;

immobillangan organik reagentlarning mis(II), temir(III) va rux ionlari bilan kompleks hosil bo'lish kimyosi, muvozanat konstantalarini topish, IQ spektroskopiya, skanerlovchi elektron mikroskopiya, rentgenofluoressent tahlili, spektrofotometriya, diffuzion nur qaytarish spektroskopiyasi usullaridan foydalangan holda aniqlash;

eritmada va qattiq fazada olingan kompleks hosil bo'lish qonuniyatlarining muvofiqligini aniqlash va ularni solishtirish, shuningdek, ularning barqarorligini oshirish;

ishlab chiqilgan sorbsion-spektroskopik usul bilan mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlashning quyi chegaralarini topish hamda usulni o'rganilayotgan ionlar tutgan atrof-muhit obyektlari analiziga qo'llash;

atrof-muhit obyektlari va oziq-ovqat mahsulotlarida mis(II), temir(III) va rux ionlarini sorbsion-spektroskopik aniqlashning yuqori sezgir va selektiv usullarini ishlab chiqish.

ishlab chiqilgan usulning validatsiyasiya ko'rsatkichlarini sertifikatlangan nazorat materiallaridan foydalangan holda usullarning asosiy analitik parametrlarini (chiziqlilik, aniqlash chegaralari, miqdoriy chegaralar, aniqlilik, takrorlanuvchanlik) baholash.

**Tadqiqot obyekti** turli xil atrof-muhit obyektlari, shuningdek, og'ir metall ionlarini o'z ichiga olgan tabiiy va chiqindi suvlar, standart namunalar, oziq-ovqat mahsulotlari va aniqlashda sorbsion spektroskopik usulini takomillashtirish.

**Tadqiqot predmeti** - mis, temir va rux ionlari, ularning birikmalarini immobillangan organik reagentlar toron I, sulfasalitsil kislotasi, ferron va alizarin qizil S, sorbent PPF-1 yordamida sorbsion-spektroskopik usullarini ishlab chiqish.

**Tadqiqot usullari.** Tadqiqot usullari sifatida spektroskopik (spektrofotometrik, diffuzion nur qaytarish spektroskopiyasi, sorbsion-spektroskopik, sorbsion-atom-absorbsion) va olingan ma'lumotlarni hisoblashning statistik usullari tanlangan. Skanerli elektron mikroskopiya, rentgen-fluoresan tahlili, elektrokimyoviy usullar, IQ-spektroskopiya va kvant kimyoviy hisoblash usullari ham qo'llanilgan.

#### **Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:**

tashuvchilarga organik reagentlar: toron I, sulfasalitsil kislotasi, ferron va alizarin qizil S immobillash analitik-faol guruhlar hisobiga kuchsiz kislotali muhitda hamda sezuvchanlikning 100 marta oshishi, konsentrlash hisobiga amalga oshishi isbotlangan;

PPF-1 tashuvchisiga toron I, sulfasalitsil kislotasi, ferron va alizarin qizil S reagentlarining mis(II), temir(III) va rux ionlari bilan muhitning optimal pH qiymatlarida universal (Briton-Robinson) bufer aralashmalarida mustahkam kompleks hosil qilishi va immobillashning optimal sharoitlari tanlangan;

Cu(II), Zn va Fe(III) ionlarini atom-absorbsion aniqlashda monoxromator tirqishi 0,7 nm va 0,2 nm ga teng bo'lganda, alangali atomizatsiya uchun yoqilg'i atsetilen-havo, rezonans chizig'i to'lqin uzunligi, 324,8 nm, 243,8 nm va 213,9 nm da, metall ionlarini aniqlash tezligi 7, 8, 9 minut bo'lganda Buger-Lambert-Ber qonuniga bo'ysunishi 1-6 mkg/l ga tengligi aniqlangan;

mis(II), temir(III) va rux ionlarining qattiq fazaga immobillangan toron I, sulfasalitsil kislota, ferron va alizarin qizil S bilan kompleks hosil qilishi eritmadagidek funktsional faol karboksil, gidroksil va diazo guruhlari hisobiga amalga oshishi aniqlandi. Shu bilan birga, komplekslarning barqarorligi eritmaga nisbatan 100 baravar oshishi kuzatildi, ularning qiymatlari quyidagicha:  
 $(\beta_{CuToron(qat.faza)}=5,95 \cdot 10^{11} > \beta_{CuToron(eritma)}=2,13 \cdot 10^9, \quad \beta_{FeSSK(qat.faza)}=2,48 \cdot 10^{10} >$

$\beta_{\text{FeSSK(eritma)}}=3,85 \cdot 10^8$  va  $\beta_{\text{ZnAQS(qat.faza)}}=8,15 \cdot 10^{15} > \beta_{\text{ZnAQS(eritma)}}=10,42 \cdot 10^{13}$ , ushbu natijalar metallar ionlari radiusining kamayish qonuniyatiga muvofiq keladi:  $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ ;

mis(II), temir(III) va rux ionlari komplekslarining tanlangan immobillangan organik reagentlar bilan hosil bo'lgan nur yutish maksimumlarining batoxrom siljishlar uzunlik bo'yicha  $\Delta\lambda_{\text{FeL}}=20$  nm,  $\Delta\lambda_{\text{ZnL}}=13$  nm va  $\Delta\lambda_{\text{CuL}}=10$  nm suvli muhit bilan solishtirganda, bu polimer asosidagi qattiq fazada immobillangan organik reagentlar eritmaga nisbatan barqarorroq ekanligini tasdiqlaydi. Bu elektrostatik tortish kuchlarining kamayib yo'qolishi bilan izohlanadi;

ishlab chiqilgan usul yordamida mis, temir va rux ionlarini aniqlashning quyi chegaralari belgilandi: mis uchun 1 mkg/l, rux uchun 6 mkg/l va temir uchun 5 mkg/l. Usulni sun'iy aralashmalar va atrof-muhit obyektlarini tahlil qilishda qo'llash natijasida nisbiy standart og'ish 0,023 dan oshmaganligi isbotlandi;

ishlab chiqilgan mis, temir va rux ionlarini aniqlash usuli suv va oziq-ovqat mahsulotlari analiziga qo'llanilgandagi olingan natijalar, boshqa DavST usullari bilan solishtirilgan va validatsiya qilingan, natijalarning to'g'riligi, sistematik xatoliklar yo'qligi Styudent va Fisher mezonlari bilan tasdiqlangan.

#### **Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:**

immobillangan toron I, sulfosalitsil kislotasi, ferron va alizarin qizil S yordamida mis(II), rux va temir(III) ionlarini aniqlash uchun selektiv va sezgir sorbsion-spektroskopik usullar ishlab chiqilgan bo'lib, ular turli xil suv namunalarini (tabiiy, oqova, ichimlik suvlari va boshqalar) tahlil qilishda qo'llanilgan;

immobillangan reagentlardan foydalanilgan holda gibrid, selektiv va sezgir sorbsion-spektroskopik usul ishlab chiqilgan bo'lib, u mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlashga asoslangan. Ushbu usul «Elektrokimyozavod» AJ, «Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ va «Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ markaziy analitik laboratoriyasidada sinovdan o'tkazilib, amaliyotga joriy etilgan. Shuningdek, u Navoiy va Toshkent viloyatlaridagi chiqindi suvlari tahlilida ham qo'llanilgan;

turli xil atrof-muhit obyektlari analizida immobillangan toron I, sulfosalitsil kislotasi, ferron va AQS yordamida sezgirlik, aniqlik, qayta takrorlanuvchanlik kabi metrologik tavsiflarni yaxshilashga imkon beradigan sorbsion-spektroskopik usuli ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi** tadqiqotlar zamonaviy tahlil usullari, xususan IQ-spektroskopiya, skanerlovchi elektron mikroskopiya, rentgenofluoresens tahlil, optik molekulyar va atom-absorbsion spektroskopiya kabi metodlar yordamida olingan tajriba natijalari bilan tasdiqlandi, shuningdek, umumqabul qilingan standartlar, «kiritildi-topilgdi» metodi asosida va DavSt 54276-2010, DavSt 4011-72, invertsiyon voltamperometriya va spektrofotometriya usullari bilan taqqoslangan. Olingan natijalar turli matematik statistika metodlari (Styudent va Fisher mezonlari va b.) yordamida qayta ishlangan

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati PPF-1 tolasimon sorbentiga toron I, sulfosalitsil kislotasi, ferron va AQS ning immobillanishining maqbul sharoitlari topilganligi, Cu(II), Fe(III) va Zn

ionlariga aniqlash selektivligi ortganligidan iborat. Organik reagentlarni immobillash hisobiga mis(II), temir(III) va rux(II) ionlarining gibrid sorbsion-spektroskopik aniqlashning analitik va metrologik tavsiflari yaxshilandi.

Tadqiqotlarning amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan sorbsion-spektroskopik metodlarning mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlashda qo'llanilishida, shuningdek, atrof-muhit obyektlari (tabiiy, chiqindi va ichimlik suvlari, oziq-ovqat mahsulotlari, tuproq va h.k.)ni tahlil qilishda va metrologik hamda analitik ko'rsatkichlarni yaxshilashda namoyon bo'ladi

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Sanoat oqava suvlaridan mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlashning sorbsion-spektroskopik usulini yaratish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalariga ko'ra:

“Elektrokimyozavod” AJ amaliyotida mis(II), temir(III) va rux ionlarini immobillangan organik reagentlar bilan aniqlashning gibrid sorbsion-spektroskopik usuli qo'llanilgan (“Elektrokimyozavod” AJning 2023-yil 21-dekabrda 17-son ma'lumotnomasi). Taklif etilayotgan gibrid sorbsion-spektroskopik usullarning eksperimental natijalari boshqa fizik va fizik-kimyoviy usullarga nisbatan, ayniqsa, aniqlik, selektivlik va turli xil tarkibni aniqlash qobiliyati, shuningdek, tahlil ekspresligi bo'yicha ustunligini ko'rsatadi. Bu ayniqsa temir(III) ionlarini aniqlashda sezilarli darajada ko'zga tashlanadi;

immobillangan organik reagentlar yordamida mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlashning sorbsion-spektroskopik usuli Toshkent viloyatining “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ analitik laboratoriyasida oqava suvlarni tahlil qilishda sinovdan o'tkazildi (“Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ ma'lumotnomasi, 2024-yil 1-iyuldagi 572-son). Natijada ishlab chiqilgan sorbsion-spektroskopik usul rux elektrolitidan mis(II), temir(III) va rux ionlarini aniqlash imkonini berdi va amaliy foydalanish uchun tavsiya etildi;

mis(II), temir(III) va rux ionlarini immobillangan organik reagentlar bilan aniqlash usuli sinovdan o'tgan va Cu(II), Fe(III) va Zn ni o'z ichiga olgan obyektlarni tahlil qilishda foydalanish uchun tavsiya etilgan. “Navoiy kon-metallurgiya kombinati” AJ suv muammolari tadqiqoti laboratoriyasi oqava suvlarni tahlil qilish imkonini bergan (“Navoiy kon-metallurgiya kombinati” AJ guvohnomasi 2022-yil 13-aprelda 23.01-01-07/159-son). Natijada NKMK AJ oqava suvlarida tahliliy laboratoriyasida Cu(II), Fe(III) va Zn ionlari aniqlashning me'yoriy texnik hujjatlarda belgilangan mezonlarga muvofiqligi ishtimoiy-iqtisodiy va ekologik muammolarni hal qilishda ahamiyatligi takidlangan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Ushbu tadqiqot natijalari 19 ta, jumladan, 4 ta xalqaro va 15 ta Respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokama qilindi.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha 32 ta ilmiy ishlar chop etilgan bo'lib, shundan 12 ta ilmiy maqola, jumladan, 10 tasi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida tomonidan fan doktori dissertatsiyasining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan va xalqaro jurnallardagi 4 ta maqola Scopus va WOS ma'lumotlar bazalarida indekslangan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, yettita bob, xulosa,

foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 200 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati, tadqiqotning maqsadi va vazifalari asoslab berilgan, tadqiqotning obyektlari va predmetlari keltirilgan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, uning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, nazariy va amaliy ahamiyati yoritilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish istiqbollari bo‘yicha xulosa qilingan hamda chop etilgan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Mis, rux va temir ionlarini aniqlashning amaliy jihatlari (adabiyotlar sharhi)”** deb nomlangan birinchi bobida mis, rux va temir ionlari, ularni aniqlashning fizik-kimyoviy usullari, aniqlash jarayonida qo‘llaniluvchi turli xil sorbent va organik reagentlar, aniqlashning atom-absorbsion hamda sorbsion-atom-absorbsion usullar bo‘yicha mavjud ma’lumotlarning tahlili keltirilgan.

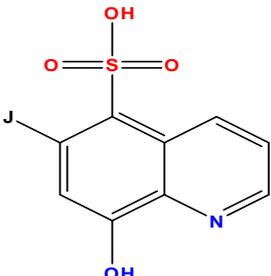
Turli obyektlarda organik reagentlar yordamida mis, rux va temir ionlarini aniqlash natijalari tizimlashtirildi. Adabiyotlarda sulfosalitsil kislotasi va ferron yordamida temir(III) ioni fotometrik usulda aniqlangan bo‘lsada, dastlabki konsentrlash orqali reagentlarni turli matritsalariga immobillash va atom-absorbsion spektroskopiyadan foydalangan holda aniqlash haqida ma’lumotlar keltirilmaganligi qayd etilgan. Shuningdek, toron I ning Cu(II) va AQS ni Zn(II) ioni bilan hosil qilgan kompleksi xossalari ham adabiyotlarda o‘rganilmaganligi aniqlangan.

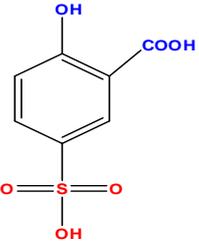
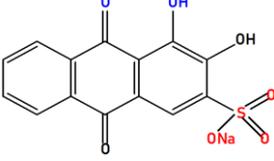
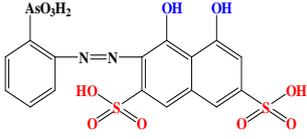
Dissertatsiyaning **“Mis(II), zux(II) va temir(III) ionlarini aniqlash uchun ishlatiladigan reaktivlar, uskunalar va yordamchi qurilmalar. Eksperiment o‘tkazish metodikasi”** nomli ikkinchi bobida, tadqiqot davomida qo‘llanilgan asbob-uskunalar, jihozlar, reaktivlar, mis(II), rux(II) va temir(III) ionlarining hamda organik reagentlarning standart va ishchi eritmalarini tayyorlash usullari keltirilgan.

Tadqiqotda qo‘llanilgan toron I, AQS, ferron va sulfosalitsil kislotasining struktura formulalari 1-jadvalda keltirilgan.

**1-jadval**

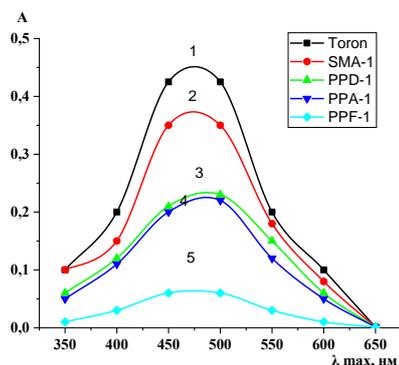
### Tadqiqotda qo‘llanilgan organik reagentlar

Stuktur formulasi	Organik reagent nomi	Brutto formulasi	Maksimal nur yutish spektri $\lambda_R$ , nm
	Ferron (6-iod-8-oksixinolin-5-sulfokislota)	$C_9H_6NO_4SI$	445

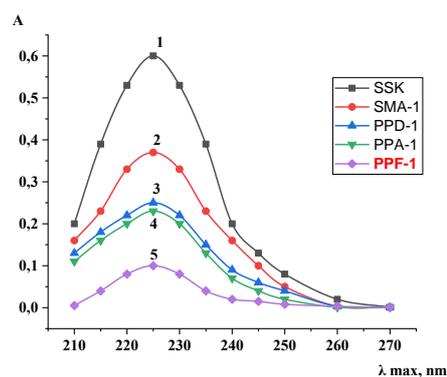
	Sulfosalitsil kislotasi (2-gidroksi-5-sulfobenzoyl kislotasi)	$C_7H_6O_6S$	216
	Alizarin qizil S (9,10-digidro-3,4-digidroksi-9,10-diokso-2-antratsensulfokislotaning natriyli tuzi)	$C_{14}H_7NaO_7S$	422
	Toron I (4-[(2-aronofenil)azo]-3-gidroksi-2,7-naftalin-disulfokislota)	$C_{16}H_{13}AsN_2O_{10}S_2$	480

Dissertatsiyaning « **Organik reagentlarni tashuvchida immobillash hamda Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarining kompleks hosil qilishining maqbul sharoitlarni tanlash**» nomli uchinchi bobida toron I, AQS, ferron va sulfosalitsil kislotasining immobillanishi hamda Cu(II), Zn(II) va Fe(III) bilan kompleks hosil qilishining optimal sharoitlari (optimal sorbent tanlash, eritma muhiti, Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysunishi) ta’sirlari o‘rganildi. Kompleks birikmalar tarkibidagi metall-reagent mol nisbatlari aniqlangan, haqiqiy molyar so‘ndirish koeffitsienti, reaksiya muvozanat konstantasi va barqarorlik konstantalari hisoblab topildi.

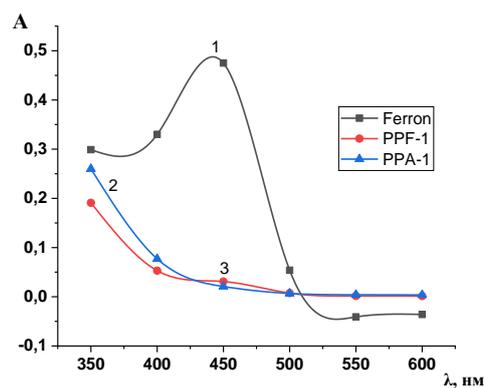
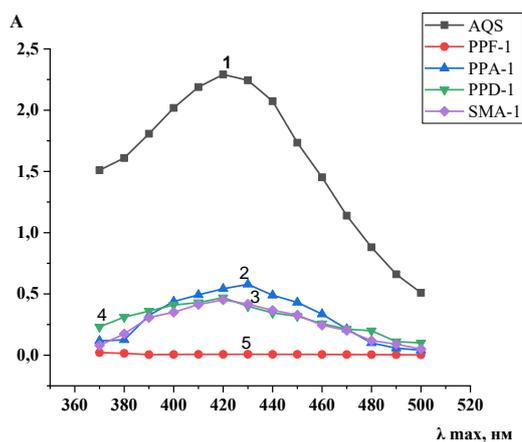
Immobillash o‘tkazishdan oldingi va keyingi organik reagentlar eritmalarining nur yutilish spektrlari hamda sorbentlarning nur qaytarish spektrlari o‘rganildi (1-4 rasmlar).



**1-rasm.** Toron I reagentining immobillashdan oldingi (1) va keyingi (2– SMA-1, 3 – PPD-1, 4 – PPA-1, 5 – PPF-1) nur yutilish spektrlari. ( $C_R=20$  mkg/ml,  $m_{\text{sorb.}}=0,2$  g,  $V_R=10$  ml,  $t=2$  min).



**2-rasm.** SSK reagentining immobillashdan oldingi (1) va keyingi (2– SMA-1, 3 – PPD-1, 4 – PPA-1, 5 – PPF-1) nur yutilish spektrlari. ( $C_R=10$  %,  $m_{\text{sorb.}}=0,2$  g,  $V_R=10$  ml,  $t=7$  min).



**3-rasm.** AQS reagentining immobillashdan oldingi (1) va keyingi (2– PPA-1, 3 – SMA-1, 4 – PPD-1, 5 – PPF-1) nur yutilish spektrlari. ( $C_R = 5 \times 10^{-5} M$ ,  $m_{\text{sorb.}} = 0,2$  g,  $V_R = 10$  ml,  $t = 2$  min).

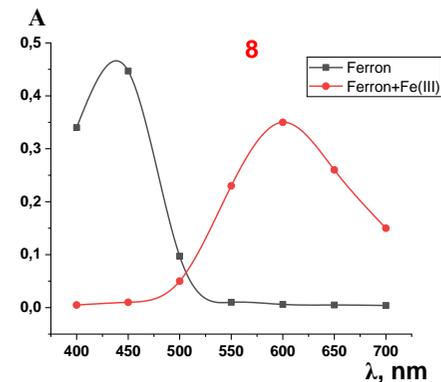
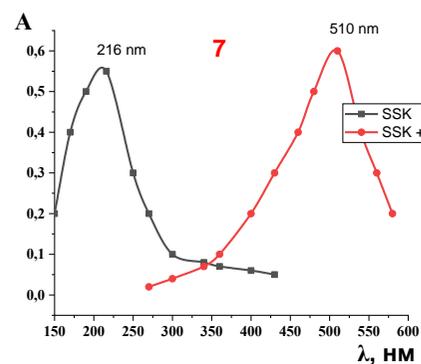
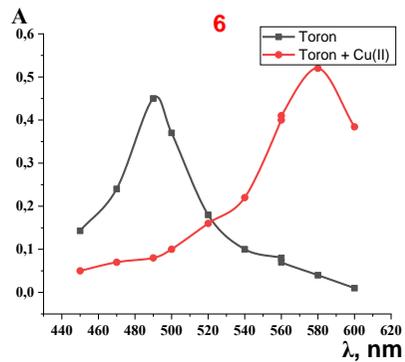
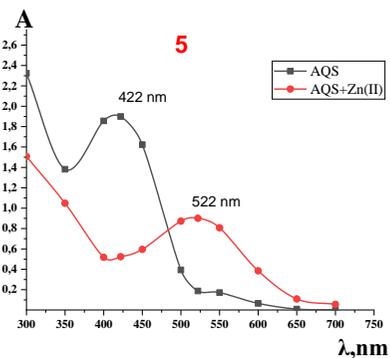
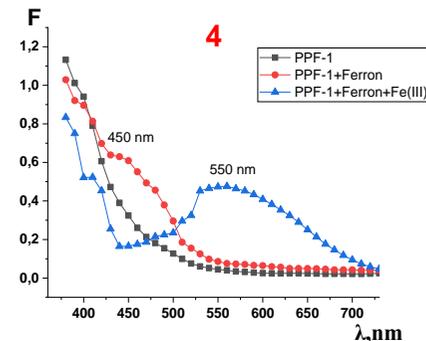
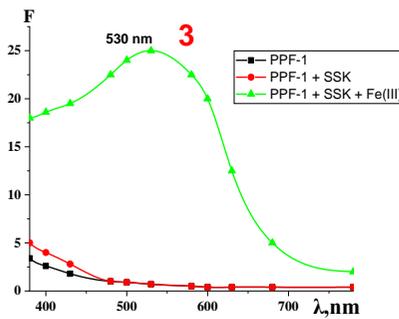
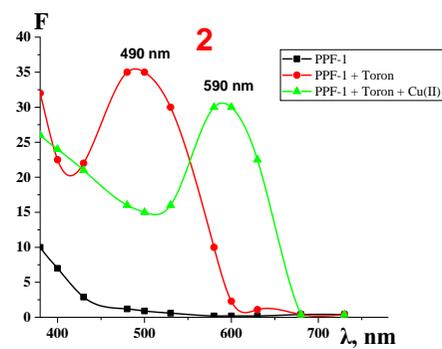
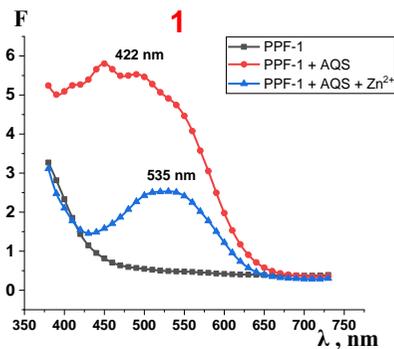
**4-rasm.** Ferron reagentining immobillashdan oldingi (1) va keyingi (2– PPA-1, 3 – PPF-1) nur yutilish spektrlari. ( $C_R = 5 \times 10^{-4} M$ ,  $m_{\text{sorb.}} = 0,2$  g,  $V_R = 10$  ml,  $t = 4$  min).

1-4-rasmdan ko‘rinib turibdiki, toron I, SSK, AQS va ferron eritmasining nur yutilish spektri maksimal analitik signali mos ravishda 490, 216, 422 va 620 nm da kuzatildi. Organik reagent eritmalarining optik zichligi kamayishi immobillanish sodir bo‘lganligidan dalolat beradi degan xulosa qilish mumkin.

Olingan natijalar organik reagentlarning immobillanishi uchun maqbul sorbent sifatida O‘zbekiston Milliy universiteti Polimerlar kimyosi kafedrasida sintez qilingan PPF-1 tolasi mos keladi, uning maksimal analitik signali 490, 216, 422 va 620 nmlarda qayd qilingan, bu esa toron I, SSK, AQS va ferron ning nur yutilish spektrlarida qayd etilgan to‘lqin uzunligiga mos keladi.

Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini toron I, SSK, AQS va ferron immobillangan reagentlari bilan qattiq fazada diffuzion nur qaytarish hamda suvli muhitda reagent va hosil qilgan komplekslarning nur yutish spektroskopiya yordamida o‘rganish natijalari o‘rganildi (5-rasm)

Olingan natijalardan shuni xulosa qilish mumkinki nur qaytarish spektroskopiya PPF-1/AQS/Zn(II) matritsaisida  $\lambda_{\Delta_{\text{MeAQS}}} = 535 - 522 = 13$  nm, PPF-1/toron I/Cu(II) matritsaisida  $\lambda_{\Delta_{\text{MeToron}}} = 590 - 580 = 10$  nm va PPF-1/SSK/ Fe(III) matritsaisida esa  $\lambda_{\Delta_{\text{MeSSK}}} = 530 - 510 = 20$  nm bataxrom tamonga kompleks birikmalarning borqarorligi oshib qattiq fazada organik reagentlarning polimer tashuvchilarga mustaxkam joylashganligi hamda eritmadagi elektrostatik tortishish kuchlari kamayganligi bilan isbotlanad.



**5-rasm.** Diffuzion nur qaytarish (1-PPF-1/AQS/Zn(II), 2- PPF-1/Toron/Cu(II), 3-PPF-1/SSK/Fe(III) va PPF-1/Ferron/Fe(III) matritslarida) koeffitsiyentining (Kubelk-Munkning funksiyasi) va nur yutishining (5- AQS/Zn(II) + AQS, 6- Toron/Fe(III), 7- SSK/Fe(III)+SSK, 8-Ferron/Fe(III)+Ferron) to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi.

Cu(II) ionlari toron I organik reagenti bilan, Zn(II) ionlari AQS bilan, Fe(III) ionlari ferron va SSK reagentlari bilan hosil qilgan komplekslarining spektral tavsiflari maqbul sharoitlarda aniqlandi (2-jadval).

### 2-jadval

#### Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarining immobillangan toron I, AQS va ferron, sulfosalitsil kislotasi bilan hosil qilgan komplekslarini olinishining maqbul sharoitlari

Metall ionlari	Reagent	Kompleks rangi	pH	$\lambda_{HR}, \text{nm}$	Suvli muhitda nur yutilish maksimumi, nm	Qattiq fazada diffuzion nur qaytarish maksimumi, nm	$\lambda_{MeL}, \text{nm}$	Reagent hajmi, ml	Sorbent massasi, g
Cu(II)	Toron I	To'q-ko'k	5-5,5	490	580	590	10	10,0	0,20
Zn(II)	AQS	Qizil-binafsha	5-6	216	522	535	13		
Fe(III)	SSK	To'q-qizil	2-2,5	422	510	530	20		
Fe(III)	Ferron	To'q-yashil	2-3	445	610	550	70		

2-jadvallardan toron I va SSK reagentlari Cu(II) va Fe(III) ionlari bilan hosil qilgan komplekslarining kontrastligi yuqori ekanligi ko'rinib turibdi, bu esa mazkur ionlarini aniqlash uchun sezgir analitik reagent sifatida qo'llash imkoniyatini beradi. Keyingi tadqiqot ishlarida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarining toron I, AQS, ferron va SSK bilan aniqlashning tanlangan maqbul sharoitlarda amalga oshirildi.

**Dissertatsiyaning "Mis(II), rux(II) va temir(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbtsion aniqlashning sharoitlarini maqbullashtirish"** deb nomlangan to'rtinchi bobida analitik signalga ta'sir etuvchi atom-absorbtsion spektrometri parametrlari - monoxromator tirqishi kengligi, alangali atomizatsiya uchun yoqilg'i tarkibi tanlangan, desorbent tarkibi, konsentratsiyasi va hajmi, metall ionlari konsentratsiyasi va konsentrlash vaqtiga analitik signalning bog'liqligi topilgan. Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbtsion aniqlashning ishlab chiqilgan uslubi keltirilgan.

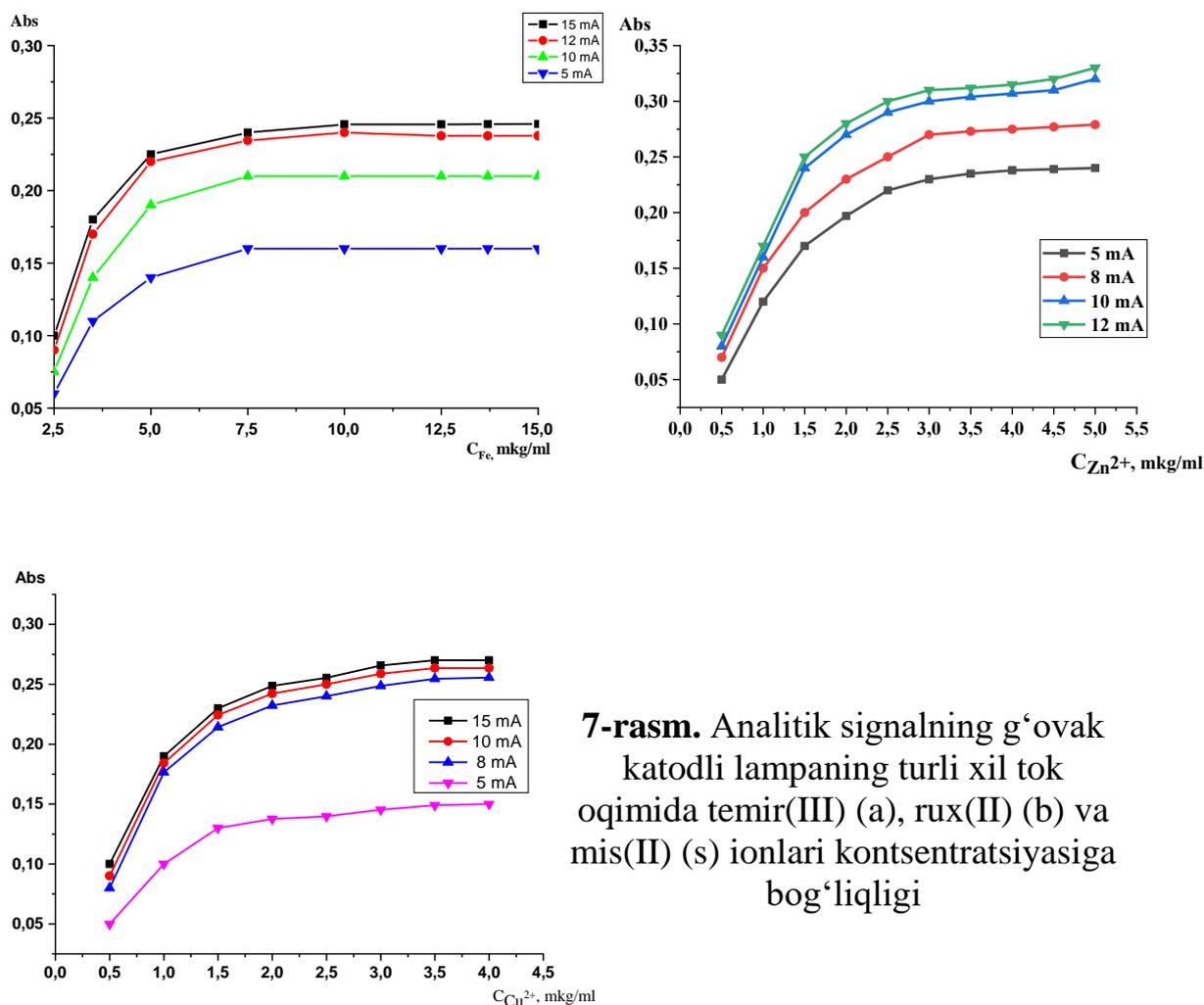
### 3-jadval

#### Mis(II) va temir(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbtsion aniqlashning maqbul sharoitlari

Element	Cu	Fe	Zn
Rezonans chizig'i to'liq uzunligi, nm	324,8	243,8	213,9
Monoxromator tirqishining kengligi, nm	0,7	0,2	0,7
G'ovak katodli lampa toki, mA	8	12	8
Ionlarni atomizatsiyalash uchun yoqilg'i tarkibi	Oksidlovchi asetilen-havo aralashmasi	Asetilen-havo	Asetilen-havo
Elementning aniqlanish chegarasi (alangali atomizatsiyali AAS, ishlab chiqilgan usul bo'yicha, mkg/ml)	0,001	0,005	0,02-0,06
Desorbent konsentratsiyasi va hajmi	15 ml 0,2 M	15 ml 0,5 M	10 ml 0,2 M

O‘tkazilgan tajribalarga asoslanib Cu(II), Fe(III) va Zn(II) ionlarini sorbsion-atom-absorbsion aniqlashning maqbul sharoitlari topildi (3-jadval).

Alanga atomizatsiyali atom-absorbsion spektrometrik tahlilida analitik signalning g‘ovak katodli lampaning turli xil tok oqimida temir(III) konsentratsiyasiga bog‘liqligi aniqlandi (7-rasm).

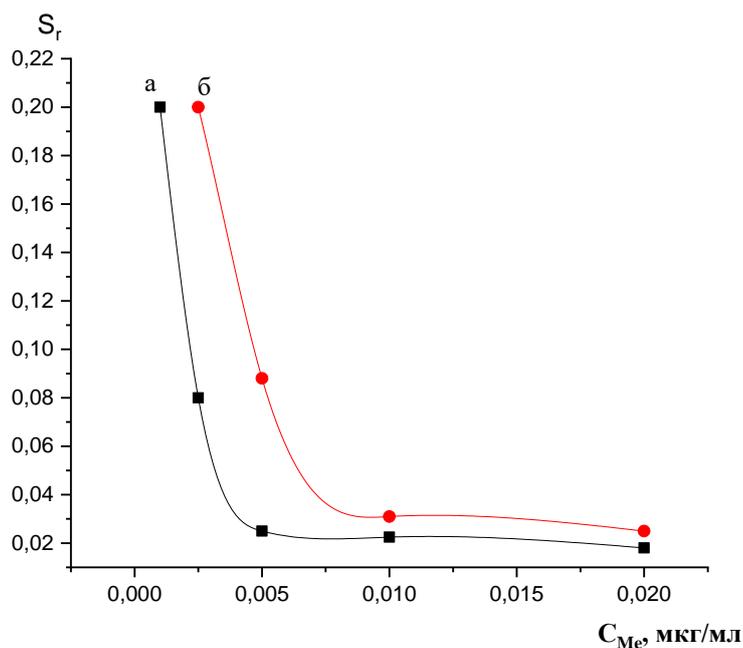


**7-rasm.** Analitik signalning g‘ovak katodli lampaning turli xil tok oqimida temir(III) (a), rux(II) (b) va mis(II) (s) ionlari konsentratsiyasiga bog‘liqligi

7-rasmdan ko‘rinib turibdiki, atom-absorbsion spektrometrining analitik signali g‘ovak katodli lampaning 5 mA tok oqimida nisbatan sustroq, 10, 12 va 15 mA tok oqimlarida esa o‘zaro yaqin analitik signal kuzatiladi. Buni hisobga olgan holda, temirni, rux va misni aniqlash uchun optimal tok oqimi mos ravishda 12 mA, 10 mA va 8 mA ni tanlandi.

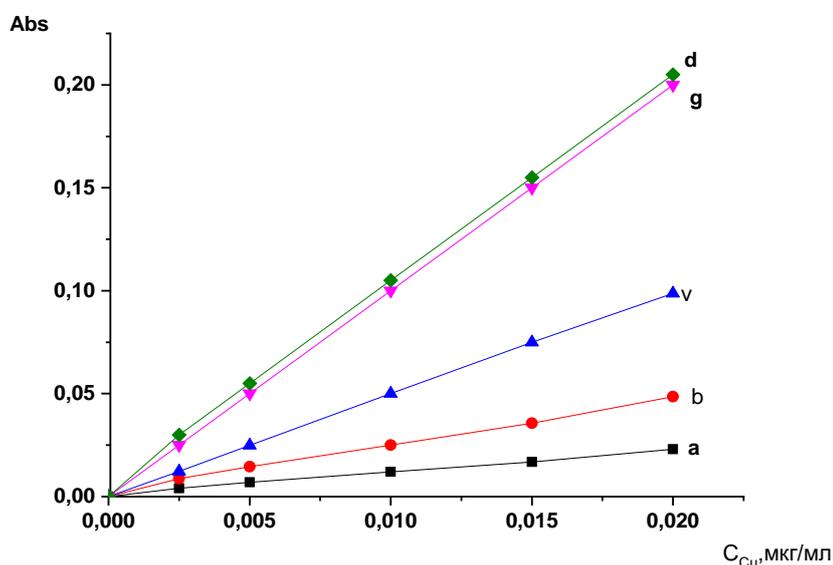
Berilgan elementlarning quyi aniqlanish chegaralarining ishlab chiqilgan uslubning nisbiy standart chetlanishiga bog‘liqlik egrilari topildi (8-rasm).

8-rasmda ishlab chiqilgan usul yordamida Cu(II) va Fe(III) ionini quyi aniqlash chegarasi “kiritildi-topildi” usuliga mos ravishda 0,001 mkg/ml va 0,005 mkg/ml ekanligi aniqlandi.



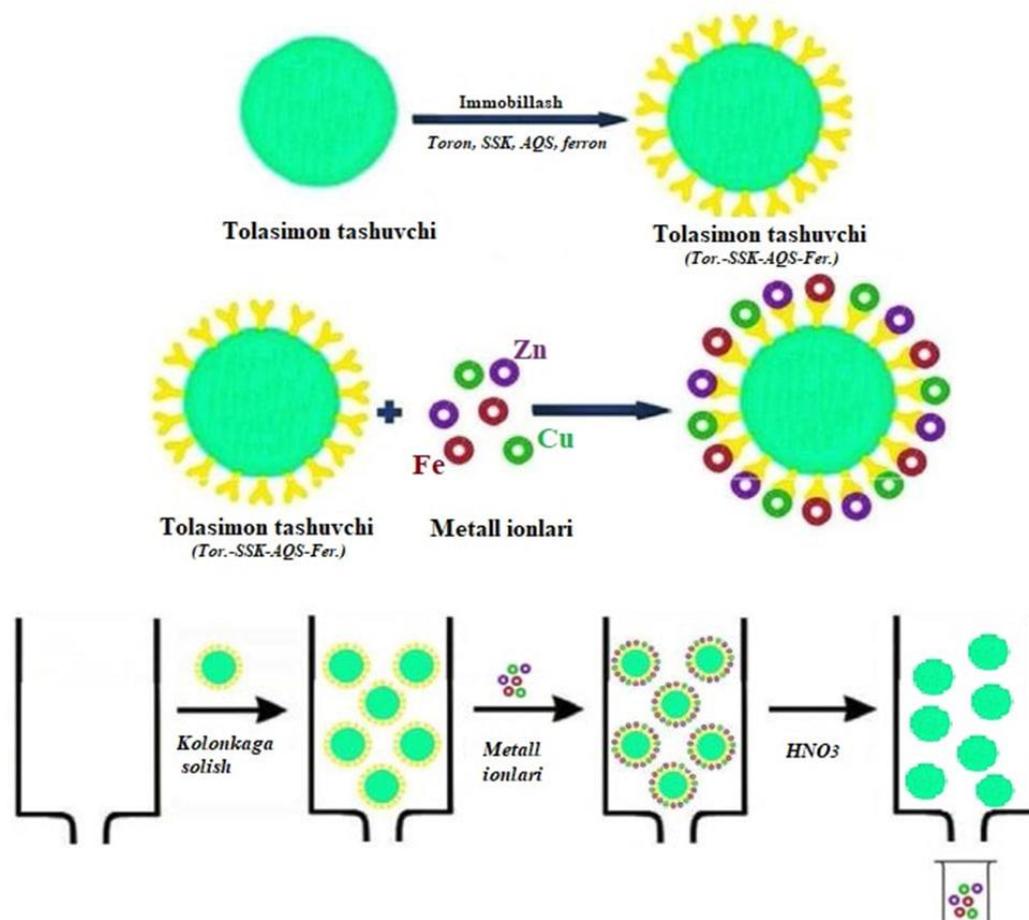
**8-rasm.** Cu(II) (a) va Fe(III)(b) ionlarini sorbsion-atom-absorbsion aniqlash natijalarining nisbiy standart chetlanishining quyi aniqlanish chegarasiga bog'liqligi.

9-rasmdan ko'rinadiki, metallni konsentrlash vaqtining ortishi graduirlangan grafik burchagining mutanosib ravishda ortishiga va shunga mos holda eritmadagi mis ionini aniqlash sezgirligining oshishiga olib kelgan. 5 daqiqa davomida konsentrlash natijasida mis ionini aniqlash sezgirligi 10 baravar oshgan.



**9-rasm.** Konsentrlashning turlicha vaqtlarida Cu(II) ionlarini sorbsion-atom-absorbsion aniqlashda analitik signalning eritmadagi metall konsentratsiyasiga bog'liqligi: a-0,5 min; b-1 min; v-2 min; g-5 min; d- 7 min.

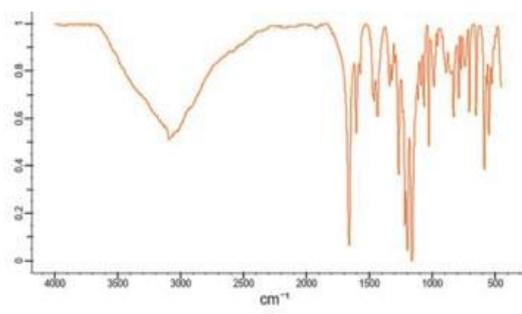
Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini aniqlash uchun ishlab chiqilgan sorbsion-atom-absorbsion usul jarayoni 10-rasmda ko'rsatilgan.



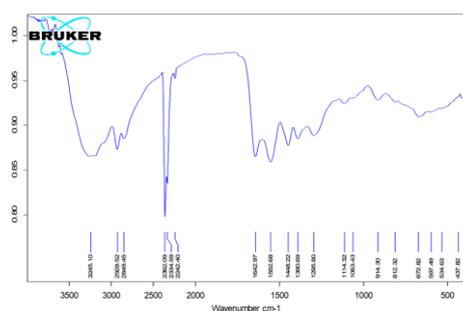
**10-rasm.** Eritmalardan Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini selektiv tanlab olish uchun tolali tashuvchidan foydalanish va organik reagentlarni (toron I, sulfasalitsil kislota, ferron va alizarin qizil C) immobillash.

**Dissertatsiyaning “Toron I, AKS, Ferron va SSK bilan imobillangan mis, rux va temir ionlarining kompleks hosil bo‘lishini spektral o‘rganish”** deb nomlangan beshinchi bobida immobillangan toron I, AQS, feeron va SSK ning Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlari bilan hosil qilgan komplekslari tarkibi va tuzilishini aniqlashning IQ-spektroskopiyasi, skanerlovchi elektron mikroskopiyasi (SEM), rentgenofluoressent tahlillari natijalari keltirilgan.

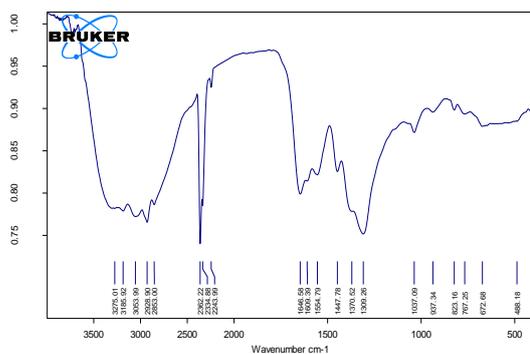
Cu(II) ionining PPF-1 sorbentiga immobillangan toron I, Zn(II) ionining PPF-1 sorbentiga immobillangan AQS reagenti bilan hamda Fe(III) ionining PPF-1 sorbentiga immobillangan ferron va SSK bilan hosil qilgan komplekslarning ta‘sir mexanizimi va tarkibini aniqlash uchun ularning IQ spektroskopik, skanerlovchi elektron mikroskopik va rentgenofluoressent analiz usullarida o‘rganildi. 10-rasmda SSK ning IQ-spektri, 11,12,13-rasm va 5-jadvalda PPF-1 sorbenti, unga immobillangan SSK hamda Fe(III) ionini bilan hosil qilgan kompleksning va 14-rasmda PPF-1 sorbenti, unga immobillangan AQS hamda Zn(II) ionini bilan hosil qilgan kompleksning IQ-spektroskopik tahlil natijalari keltirildi.



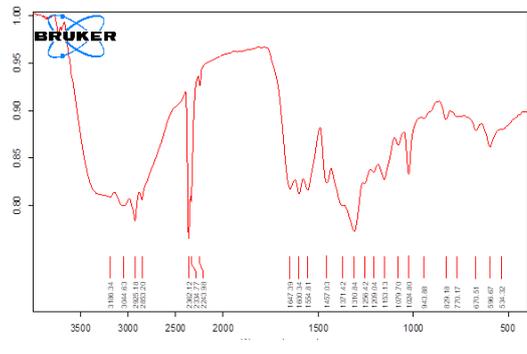
11-rasm. SSK reagentining IQ-spektri



12-rasm. PPF-1 sorbentining IQ-spektri



13-rasm. PPF-1 tolasiga immobilangan SSK reagentining IQ-spektri



14-rasm. Fe(III) ionini bilan PPF-1 sorbentiga immobilangan SSK hosil qilgan kompleksining IQ-spektri

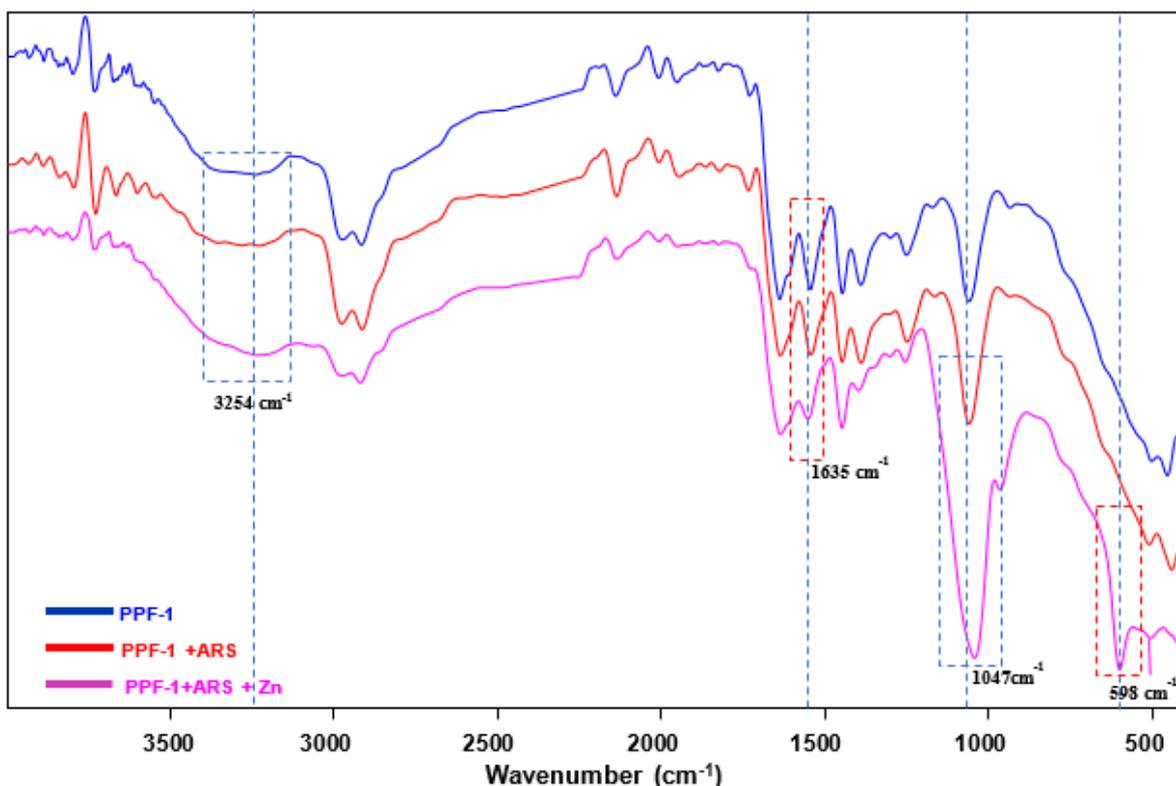
**5-jadval**

**PPF-1 sorbenti, immobilangan SSK va Fe(III) ionini bilan immobilangan SSK kompleksining IQ-spektroskopiya tahlili natijalari**

Funksional guruhlar	$V_{PPF-1}, \text{sm}^{-1}$	$V_{ImR} \text{ (SSK.)}, \text{sm}^{-1}$	$V_{\text{kompleks Fe}}, \text{sm}^{-1}$
-OH	3245,10	3330-3184	3330-3186
-CH <sub>2</sub> -	2928-2849	3030-2848	3044-2853
-P-H	2362	2362	2362
-P-O	1448	1448	1457
-N-H	1642	1627-1579	1647-1554
-C-H (Ar)	-	3053	3044
-C-O	-	1309	1310
-C=C- (Ar)	-	1609-1554	1600-1554
-S=O	-	1037	1079
-O-Me	-	-	670-534

IQ-spektroskopik tahlil natijalaridan ko‘rinib turibdiki, PPF-1 sorbentiga SSK reagenti immobilangandan so‘ng reagentning aromatik halqadagi -C-H ( $sp^2$ ) bog‘iga xos yangi  $3053 \text{ sm}^{-1}$  sohada, aromatik halqadagi -C=C- bog‘iga xos  $1609-1554 \text{ sm}^{-1}$  sohada, karboksil guruhidagi -C-O bog‘iga xos  $1309 \text{ sm}^{-1}$  yutilish chiziqlari va -OH guruhiga xos  $3330-3184 \text{ sm}^{-1}$  sohada kengayish kuzatildi. Mazkur o‘zgarishlar SSK reagentining PPF-1 sorbentiga immobilanganligidan dalolat beradi. Fe(III) ionlarining immobilangan SSK reagenti bilan hosil qilgan kompleks

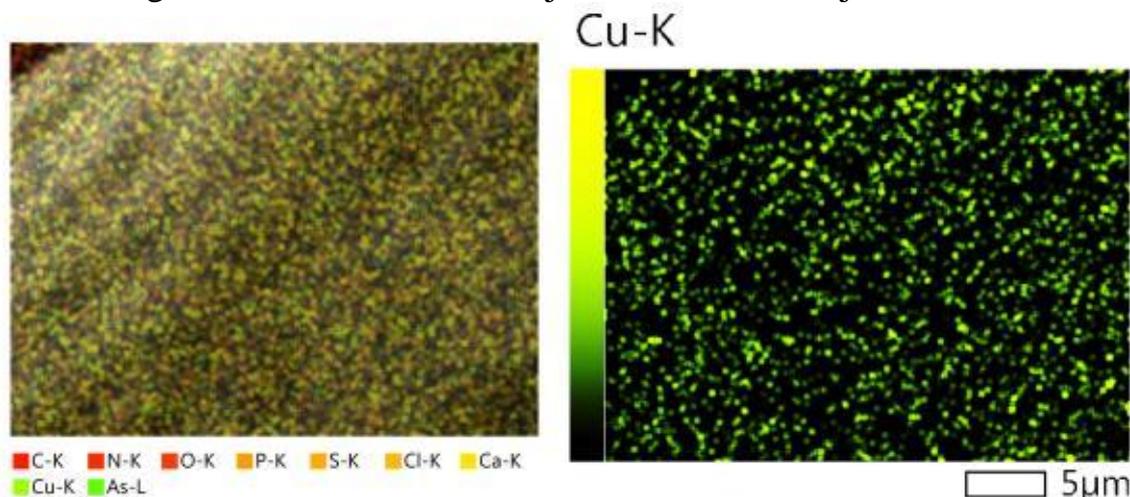
IQ-spektrlari o'rganilganda  $670-534\text{ cm}^{-1}$  sohada  $-\text{O}-\text{Me}$  bog'iga xos bo'lgan yutilish chiziqlari paydo bo'lganligi aniqlandi (15-rasm).



**15-rasm:** Zn(II) ionini bilan PPF-1 sorbentiga immobillangan AQS hosil qilgan kompleksining IQ-spektri

15-rasmda infraqizil spektrda  $598\text{ cm}^{-1}$  diapazonida yangi yutilish chizig'ining paydo bo'lishi  $-\text{O}-\text{Zn}$  bog'lanishining hosil bo'lganligini ko'rsatadi. Bu immobillangan AQSning rux ionlari bilan o'zaro ta'siri natijasida kompleks hosil bo'lganligini taxmin qilishga asos beradi.

PPF-1 sorbentiga immobillangan toron I va Cu(II) ioni hosil qilgan kompleksning skanerlovchi elektron mikroskopik tahlil natijalari 15-rasm va 6-jadvalda, rentgenofluoressent analiz natijalari 16-rasm va 7-jadvalda keltirib o'tildi.

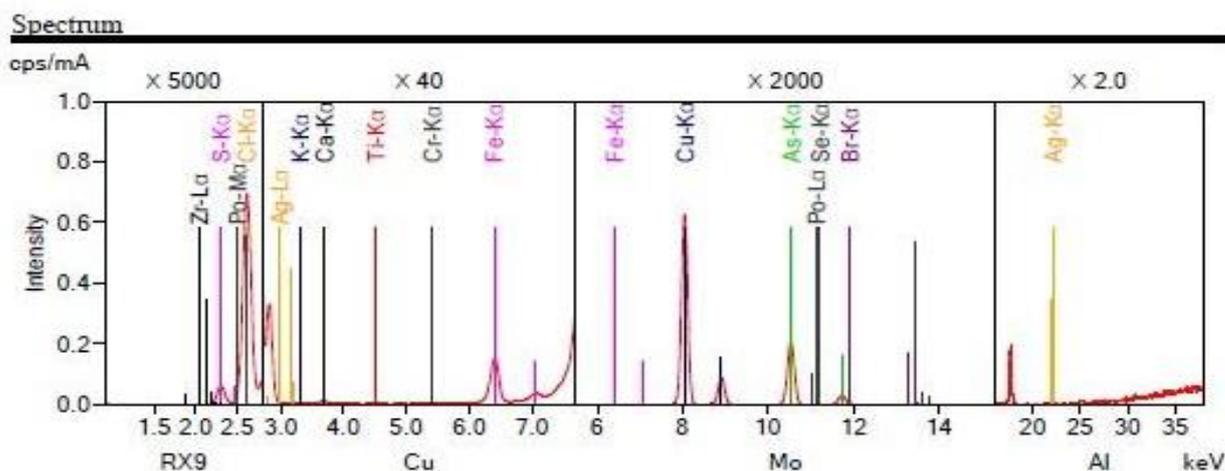


**16-rasm.** Sorbent sirtida turli elementlar (1) hamda misning (2) taqsimlanishi mikrotasvirlari

**Cu(II) bilan immobillangan toron I hosil qilgan kompleksining  
skanerlovchi elektron mikroskopiya tahlili natijalari**

№	Namuna	Tarkib, % (n=3, P=0,95)							
		C	N	Cl	O	S	P	As	Cu
1	PPF-1+ Cu(II)	40,05 ± 0,5	34,28± 0,2	2,03 ± 0,1	21,85 ± 0,2	-	0,02 ± 0,01	-	1,77 ± 0,01
2	PPF- 1+toron I	43,9 ± 0,2	30,9 ± 0,4	12,3 ± 0,1	12,3 ± 0,3	0,20 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,37 ± 0,06	-
3	PPF- 1+toron I + Cu(II)	29,8 ± 0,2	12,9 ± 0,2	21,1 ± 0,1	19,5 ± 0,2	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,07 ± 0,04	15,85 ± 0,30

17-rasm va 6-jadvalda keltirilgan skanerlovchi elektron mikroskopiya natijalaridan ko'rinadiki, sorbent tolasida mis teng taqsimlangan, bu esa xemosorbsiya sodir bo'lganligidan dalolat beradi, bunda sorbentda misning miqdori 15,85% ni tashkil qiladi.



**17-rasm.** PPF-1 sorbentiga immobillangan toron I bilan Cu(II) ionlarining hosil qilgan kompleksining rentgenofluoressent tahlili

**PPF-1 sorbenti, immobillangan toron I va uni Cu(II) ionlari bilan  
kompleksining rentgenofluoressent tahlil natijalari**

Tahlil qilingan namuna	Cl, mass %	As, mass %	S, mass %	Cu, mass %
PPF-1+HCl	29,7	0,0007	0,144	0,0060
PPF-1+R	15,2	1,18	3,55	0,00335
PPF-1+R+Cu(II)	15,3	1,21	2,41	14,9000

Rentgenofluoressent tahlil natijalariga ko'ra, toron I immobillangan PPF-1 sorbenti namunasi tekshirilganda reagent tarkibiga kiruvchi As va S elementlari aniqlanganligi immobillanish jarayoni sodir bo'lganligidan dalolat beradi. 17-rasmda Cu(II) ionlari bilan immobillangan toron I hosil qilgan kompleks namunasi tekshirilganda esa Cu(II) ioniga tegishli yuqori intensivlikdagi cho'qqini ko'rishimiz

mumkin, shuningdek uning massa jihatdan miqdori 14,9 % ekanligi aniqlandi. Natijalar ishlab chiqilgan usulning to'g'irligidan darak beradi.

**Dissertatsiyaning “Turli ob'ektlarni tahlil qilishda mis, temir va ruxni aniqlashning gibril sorbsion-spektroskopik usulini analitik qo'llash” deb nomlangan oltinchi bobida sun'iy aralashmalar tarkibida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini aniqlashda begona ionlar ta'siri topilgan, ishlab chiqilgan usul tahlilning boshqa mustaqil usullari bilan raqobatbardoshligi baholangan, ishlab chiqilgan usul real obyektlar suv, tuproq va bazi oziq-ovqat mahsulotlari namunalari tahlilida qo'llanilgan.**

Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini binar, uchlamchi va murakkab model aralashmalarda va sanoat chiqindi suvlari, texnik suvlar tarkibida ishlab chiqilgan usul bilan aniqlash o'tkazildi (8-11 jadvallar).

### 8-jadval

#### Sun'iy aralashmalarda Cu(II) ionini immobillangan toron I yordamida aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)

Tahlil qilingan aralashma tarkibi	Ionlar nisbati	Kiritildi Cu <sup>2+</sup> , mkg	Topildi Cu <sup>2+</sup> , mkg $\bar{X} \pm \Delta\bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Cu <sup>2+</sup> + Mn <sup>2+</sup>	1:20	20,0	19,84±0,26	0,230	0,012
Cu <sup>2+</sup> + Ni <sup>2+</sup>	1:20		19,78±0,31	0,268	0,014
Cu <sup>2+</sup> + Co <sup>2+</sup> + Ni <sup>2+</sup>	1:50:20		19,70±0,36	0,316	0,016
Cu <sup>2+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:50:50		19,68±0,38	0,335	0,017
Cu <sup>2+</sup> +Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> +Co <sup>2+</sup> + Mn <sup>2+</sup> +Ni <sup>2+</sup>	1:300:300:300:50 :50:20:20:20		19,68±0,38	0,335	0,017

### 9-jadval

#### Sun'iy aralashmalarda Zn(II) ionini immobillangan AKS yordamida aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)

Tahlil qilingan aralashma tarkibi	Ionlar nisbati	Kiritildi Zn <sup>2+</sup> , mkg	Topildi Zn <sup>2+</sup> , mkg $\bar{X} \pm \Delta\bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Zn <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup>	1:50	20	19.82±0.28	0.245	0.013
Zn <sup>2+</sup> + K <sup>+</sup>	1:50		19.76±0.29	0.272	0.014
Zn <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	1:50:50		19.72±0.35	0,306	0,015
Zn <sup>2+</sup> +Ba <sup>2+</sup> +Ca <sup>2+</sup>	1:50:50		19,68±0,35	0.338	0,017
Zn <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + Ba <sup>2+</sup> + Ca <sup>2+</sup> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +Cu <sup>2+</sup>	1:100:100:100:50: 50:100		19.65±0,40	0,341	0,017

## 10-jadval

**Sun'iy aralashmalarda Fe(III) ionini immobillangan SSK yordamida  
aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)**

Tahlil qilingan aralashma tarkibi	Ionlar nisbati	Kiritildi Fe <sup>3+</sup> , mkg	Topildi Fe <sup>3+</sup> , mkg $\bar{X} \pm \Delta\bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Fe <sup>3+</sup> + Na <sup>+</sup>	1:50	20	19.50 ± 0.91	0.791	0,041
Fe <sup>3+</sup> + K <sup>+</sup>	1:50		19.48 ± 0.67	0.581	0.03
Fe <sup>3+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:50		19.32 ± 0.74	0.642	0.033
Fe <sup>3+</sup> + Ba <sup>2+</sup>	1:50		19.28 ± 0.88	0.769	0.04
Fe <sup>3+</sup> + Pb <sup>2+</sup>	1:50		19.18 ± 0.67	0.581	0.03
Fe <sup>3+</sup> + Ca <sup>2+</sup>	1:50		19.2 ± 0.72	0.628	0.033
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1:50		19.12 ± 0.63	0.55	0.029
Fe <sup>3+</sup> + Cu <sup>2+</sup>	1:50		19.1 ± 0.61	0.534	0.028
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup> + Cu <sup>2+</sup>	1:50:50		19.24 ± 0.58	0.508	0.026
Fe <sup>3+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:100:100		19.02 ± 0.46	0.396	0.021
Fe <sup>3+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + Cu <sup>2+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1:100:100:100: 100:50:50	19.58 ± 0.83	0.719	0.037	

## 11-jadval

**Sun'iy aralashmalarda Fe(III) ionini immobillangan ferron yordamida  
aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)**

Tahlil qilingan aralashma tarkibi	Ionlar nisbati	Kiritildi Fe <sup>3+</sup> , mkg	Topildi Fe <sup>3+</sup> , mkg $\bar{X} \pm \Delta\bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1:100	20,0	19,85±0,25	0,218	0,011
Fe <sup>3+</sup> + Zn <sup>2+</sup>	1:100		19,82±0,28	0,248	0,012
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup> + Zn <sup>2+</sup>	1:100:100		19,80±0,27	0,236	0,012
Fe <sup>3+</sup> +Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:100:100		19,78±0,31	0,269	0,014
Fe <sup>3+</sup> +Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> +Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> +Cu <sup>2+</sup> +Zn <sup>2+</sup>	1:100:100:100: 100:50:50		19,72±0,38	0,333	0,017

8- va 11-jadvallardan ko‘rinib turibdiki, ishlab chiqilgan sorbsion-atom-absorbsion usul yordamida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini binar, uchlamchi va murakkab model aralashmalarda qo‘llanilganda nisbiy standart chetlanish 0,037 dan oshmaydi, bu esa ishlab chiqilgan usulning to‘g‘riligi va qayta takrorlanuvchanligini ko‘rsatadi.

**Dissertatsiyaning “Immobillangan reagentlar yordamida mis, rux va temirni aniqlash uchun ishlab chiqilgan sorbsion-spektroskopik usulini validatsiyasi”** deb nomlangan yettinchi bobida ishlab chiqilgan sorbsion-spektroskopik usuli yordamida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini PPF-1 sorbentiga immobillangan toron I, AQS, ferron va SSK yordamida aniqlashning to‘g‘riligi va qayta takrorlanuvchanligi “kiritildi-topildi” usuli bilan baholandi. Tahlil uchun

Navoiy va Toshkent viloyati hududidagi sanoat korxonalarining chiqindi, texnogen hamda sanoat suvlari hamda ichimlik va yerosti suvlari namunalari olindi. Tadqiqot natijalari 12-jadvalda keltirib o‘tildi.

**12-jadval**

**Turli xil tabiiatli suvlar tarkibida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbsion aniqlash (P=95, n=3)**

Aniqlanuvchi metall ioni	Immobilangan reagent	Namuna	Kiritildi Cu(II), mkg/l	Topildi mkg/l	S	S <sub>r</sub>
Cu(II)	Toron I	Texnogen suv	0	3,31±0,02	0,010	0,003
			10,0	13,2±0,1	0,152	0,011
			20,0	23,14±0,1	0,055	0,002
		Chiqindi suv	0	1,3±0,02	0,010	0,008
			10,0	11,45 ± 0,09	0,050	0,004
			20,0	21,12 ± 0,03	0,015	0,001
		Sanoat suvlari	0	2,4±0,02	0,010	0,004
			10,0	12,1 ± 0,18	0,100	0,008
			20,0	22,78 ± 0,14	0,076	0,003
Fe(III)	SSK	Vodoprovod suvi	0	0,25±0,01	0,006	0,023
			10,0	10,2±0,02	0,010	0,001
			20,0	20,31±0,03	0,015	0,001
		Yerosti suvi	0	1,12±0,03	0,015	0,014
			10,0	11,2 ± 0,18	0,100	0,009
			20,0	21,12 ± 0,23	0,126	0,006
		Sanoat chiqindi suvi	0	1,32±0,05	0,029	0,022
			10,0	11,4 ± 0,18	0,100	0,009
			20,0	22,11 ± 0,04	0,023	0,001
Zn(II)	AQS	Chiqindi suv	0	2,1 ± 0,1	0,126	0,014
			10,0	12,2 ± 0,2	0,126	0,010
			20,0	20,2 ± 0,3	0,185	0,009
		Sanoat chiqindi suvi	0	4,4 ± 0,3	0,145	0,033
			10,0	14,43 ± 0,4	0,225	0,016
			20,0	24,3 ± 0,3	0,173	0,007
		Texnogen suv	0	5,6 ± 0,3	0,14	0,025
			10,0	15,4 ± 0,6	0,351	0,023
			20,0	25,6 ± 0,6	0,321	0,013

Jadvaldan ko‘rinadiki, “kiritildi-topildi” usuli yordamida tekshirish natijalari ishlab chiqilgan usulning qayta takrorlanuvchanligi va to‘g‘riligini isbotlaydi. Bunda ishlab chiqilgan usulning nisbiy standart chetlanishi 0,023 dan oshmaydi.

Ishlab chiqilgan usul DavSt 54276-2010, DavSt 4011-72, inversion voltamperimetriya va spektrofotometriya usullari bilan solishtirildi. Har bir namuna uchun parallel aniqlashlar natijalari yaqinligini baholash uchun ikki mustaqil usul – Styudent va Fisher omillarini hisoblash orqali amalga oshirildi. Olingan natijalar 13-14-jadvallarda keltirildi.

**13-jadval**

**Texnogen suvlar tarkibida mis(II) ionini aniqlashda sorbsion-atom-absorbtsion (SAAS) va inversion voltamperimetriya (IV) usuli natijalarini taqqoslash (n=12, f1= 11, P = 0,95)**

Tahlil obyekti	SAAS usuli		IV usuli	
	Namuna $\bar{x}$ , mkg/l	Sr	Namuna $\bar{x}$ , mkg/l	Sr
Sorbent (PPF-1)+R+Cu (II)	3,75	0,0151	3,71	0,0171
t-mezon	$t_{eksp} = 1.45; t_{jadv} = 2,83$		$t_{eksp} < t_{jadv}$	
F-mezon	$F_{eksp} = 1.31; F_{jadv} = 4,47$		$F_{eksp} < F_{jadv}$	

**14-jadval**

**Texnogen suvlar tarkibida temir(III) ionini aniqlashning sorbsion-atom-absorbtsion (SAAS) usulini spektrofotometriya (SF) usuli bilan raqobatbardoshligini baholash (n=12, f1 = 11, P = 0,95)**

Tahlil obyekti	SAAS usuli		SF usuli	
	Namuna $\bar{x}$ , mkg/l	Sr	Namuna $\bar{x}$ , mkg/l	Sr
Sorbent (PPF-1)+R+Fe(III)	0,41	0,011	0,40	0,012
t-mezon	$t_{eksp} = 1.09; t_{jadv} = 2,83$		$t_{eksp} < t_{jadv}$	
F-mezon	$F_{eksp} = 2.52; F_{jadv} = 4,47$		$F_{eksp} < F_{jadv}$	

Tahlil natijalarining Fisher va Styudent mezonlari asosida solishtirish shuni ko'rsatadiki, hisoblab topilgan F- va t-mezonlar qiymatlari nazariy jadval qiymatlaridan oshmaydi. Bu esa tahlil usullari natijalari o'rtasida sezilarli farqlar hamda sistematik xatolar yo'qligini ko'rsatadi.

**15-jadval**

**Cu(II) va Fe(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbtsion aniqlash usul va DavSt usullari bilan raqobatbardoshligini baholash natijalari**

№	Aniqlanuvchi parametrlar	Cu <sup>2+</sup>		Fe <sup>3+</sup>		Zn <sup>2+</sup>	
		Ishlab chiqilgan usul	DavSt (AAS) (54276-2010)	Ishlab chiqilgan usul	DavSt (fotometriya) (4011-72)	Ishlab chiqilgan usul	PND F (AAS) (14.1:2.214-06)
1	Muhit, pH	5-5,5	-	2,5-5		5-6	1
2	Quyi aniqlanish chegarasi	1 mkg/l	0,05 mg/l	5 mkg/l	0,1 mg/l	3 mkg/l	10 mkg/l
3	Ishlatilgan organik reagent	Toron I	-	Sulfosalit sil kislotasi	Sulfosalitsil kislotasi	AQS	-
4	Sr	0,023	0,05-0,10	0,02	0,05-0,15	0,03	0,08

Olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqilgan sorbsion-atom-absorbsion usullari yordamida mis(II), rux(II) va temir(III) ionlarini aniqlash sanoat oqova suvlari va texnologik suvlarda tahlil qilish uchun qo'llash mumkin.

## XULOSALAR

1. Mis(II), rux va temir(III) ionlarini aniqlash uchun toron I, AQS, ferron va sulfosalitsil kislotasi selektiv organik reagentlari hamda PPF-1 ion almashinadigan sorbenti tanlandi, ularning analitik xususiyatlarini saqlab qolgan holda kislotali muhitda polimer tashuvchilarga immobillashga tavsiya etildi.
2. Immobillangan toron I, alizarin qizil S, ferron va sulfosalitsil kislotasi (SSK) reagentlarining mos ravishda mis(II) bilan 1:2, temir bilan 1:1, rux bilan esa 1:2 nisbatda kompleks hosil qilishining optimal sharoitlari tanlandi hamda sorbent yuzasida metall ionlarining bir xil taqsimlanishi, sorbentni statik almashinish sig'imi 10 marta oshganligi kimyoviy sorbsiya hisobiga ketganligi zamonaviy spektral usullar bilan isbotlanadi.
3. Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini atom – absorbsion usulda aniqlashning optimal sharoitlari mos ravishda: monoxromator tirqishi 0,7, 0,7, 0,2 nm, ichi bo'sh, katod chiroq oqimi 8, 10, 12 mA, atomizatsiya uchun yonuvchan aralashma - oksidlovchi havo-atsetilen, havo-atsetilen ekanligi, hamda mis ionini 1 mkg/l, rux ionini 6 mkg/l va temir ionini 5 mkg/l gacha atrof muhitning turli obyektlaridan aniqlashga tavsiya qilindi.
4. Immobillangan reagentlarning o'rganilayotgan metall ionlarini aniqlashda sezgirliги immobillash hisobiga oshganligini Tolmachov usulida haqiqiy molyar so'ndirish koeffisientlari: Cu(II) toron I bilan  $\epsilon_{\text{haq}}=23150$  ga, Zn ioni AQS bilan  $\epsilon_{\text{haq}}=47619$  ga va Fe(III) ioni sulfosalitsil kislotasi bilan  $\epsilon_{\text{haq}}=21740$  ga tengligi hamda kompleksning barqarorlik konstantalari Cu(II) uchun  $\beta_{\text{barq}}=5,95 \cdot 10^{11}$ , Fe(III) uchun  $\beta_{\text{barq}}=2,48 \cdot 10^{10}$  va Zn(II) uchun  $\beta_{\text{barq}}=8,1 \cdot 10^{15}$  ekanligi eritmaga nisbatan barqarorlikning 100 marta oshganligi bilan tasdiqlandi.
5. Qattiq fazada mis(II), temir(III) va rux ionlarining tanlangan immobillangan organik reagentlar bilan hosil qilgan komplekslarining nur yutish maksimumlarining  $\Delta\lambda_{\text{FeL}}=20$  nm,  $\Delta\lambda_{\text{ZnL}}=13$  nm va  $\Delta\lambda_{\text{CuL}}=10$  nm bataxrom siljishi eritmaga nisbatan elektrostatik tortishish kuchlari kamayganligi hamda barqarorlik konstanta qiymatlari metal ionlarining ion radiusi  $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$  kamayib borish qonuniyatiga mosligi taklif qilindi.
6. Mis(II), rux va temir(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbsion aniqlash usulida immobillangan organik reagentlarni qo'llash orqali ajratish va konsentrlashni amalga oshirilib, sezgirlik va tanlab tasir etivchanlikni 100 marta oshishi olingan natijalarni validatsiya qilish orqali isbotlandi hamda F- va t-mezonlarining qiymatlari sistematik xatolik qiymatlari nazariy jadval qiymatlaridan oshmasligi bilan izohlandi. Ishlab chiqilgan usul DavSt 54276-2010, DavSt 4011-72, inversion voltamperimetriya va spektrofotometriya usullar natijalari bilan raqobatbardosh ekanligi tavsiya qilindi.
7. Ishlab chiqilgan gibrid sorbsion-spektroskopik usul Cu(II), Zn va Fe(III) ionlari saqlagan turli chiqindi suvlar va sun'iy aralashmalar tahliliga qo'llanildi. Immobillangan toron I, AQS, ferron va sulfosalitsil kislotasi organik reagentlari

yordamida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlarini sorbsion-atom-absorbsion aniqlash usuli «Elektrokimyoy» AJ, «Olmaliq kon metallurgiya kombinat» AJ va «Navoiy kon metallurgiya kombinat» AJ larining analitik laboratoriyalarida sinovdan o'tkazildi va tarkibida Cu(II), Zn(II) va Fe(III) ionlari bo'lgan suvlar analizida qo'llashga tavsiya etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ DSc. 03/30.12.2019.К.01.03 ПРИ  
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА**

**РУЗМЕТОВ УЧКУН УРУНБОЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА И ВАЛИДАЦИЯ ГИБРИДНЫХ СОРБЦИОННО-  
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ  
Fe(III), Cu(II) И Zn(II) В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**02.00.02 – Аналитическая химия  
(химические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ХИМИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

**Ташкент – 2025**

Тема докторской диссертации (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2023.2.DSc/K157.

Докторская диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу Научного совета [www.ik-kimyo.nuu.uz](http://www.ik-kimyo.nuu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Научный консультант**

**Сманова Зулайхо Асаналиевна,**  
д.х.н, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Султонов Марат Мирзаевич**  
доктор химических наук, профессор

**Усмонова Хилола Уматалиевна,**  
доктор химических наук, доцент

**Абдурахмонов Илхом Эргашбойевич,**  
доктор химических наук, профессор

**Ведущая организация**

**Институт общей и неорганической химии**

Защита диссертации состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.K.01.03 при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, Ташкент, ул. Университетская, дом 4, Тел.: (+99871) 246-07-88, 277-12-24; факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: [ilmiy\\_kengash@nuu.ru](mailto:ilmiy_kengash@nuu.ru)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирован за № \_\_\_\_). (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, дом 4. Тел.: (+99871) 246-07-88, 227-12-24; факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: [nauka@nuu.uz](mailto:nauka@nuu.uz)).

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.)

**Ш.Ш.Даминова**

Заместитель председателя Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.х.н.,  
профессор

**Н.Х.Кутлимуратова**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению ученых  
степеней, д.х.н., доцент

**Б.Н.Бабаев**

Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению учёных степеней,  
д.х.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (Аннотация докторской диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Во всем мире присутствие тяжелых металлов в объектах окружающей среды, в глобальном масштабе, представляют собой значительный риск для здоровья человека, в основном, из-за загрязнения экосистем и последующего возникновения различных заболеваний. Для решения этих проблем необходимо сначала определить и отделить ионы тяжелых и токсичных металлов. Ионообменные сорбенты могут быть использованы для отделения ионов металлов из различных источников, включая сточные, морские и речные воды. Однако при определении металлов, присутствующих в почве, воздухе и других объектах окружающей среды, процесс начинается с обнаружения, затем следует построение схемы разделения и последующее разделение. Следовательно, разработка гибридных методов обнаружения и разделения тяжелых металлов является актуальным с точки зрения экономической эффективности и практической значимости.

Во всем мире ведутся обширные исследования по разработке экстракционных, спектроскопических и хроматографических методов разделения и определения тяжелых и токсичных металлов. Для повышения чувствительности и селективности разработаны гибридные сорбционно-спектроскопические аналитические методики, использующие иммобилизацию носителей с различными органическими реагентами, содержащих функциональные и аналитико-активные группы и представляющие значительную научную ценность в плане оптимизации метрологических характеристик метода и аналитических параметров. Эти методы представляют собой перспективное решение, эффективно сочетающее преимущества сорбции и спектроскопии. Они обеспечивают высокочувствительный и селективный анализ, упрощают пробоподготовку и снижают стоимость исследований, что делает их пригодными для применения в экологическом мониторинге в различных географических регионах мира, в том числе там, где доступ к сложному оборудованию ограничен. Некоторые дорогостоящие приборы в таких методах, как атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и оборудование сложной конструкции требуют высокой квалификации специалистов и другой сложной пробоподготовки, что не позволяет широко использовать их, особенно в развивающихся странах, где часто отсутствуют практические решения. Валидация гибридных методов имеет первостепенное значение для обеспечения их надежности и воспроизводимости в различных условиях. При этом можно оценить такие параметры как точность, чувствительность и селективность, что крайне важно для успешного применения рассматриваемых методов в международной практике анализа окружающей среды. Таким образом, разработка и валидация гибридных сорбционно-спектроскопических методов определения ионов Fe(III), Cu(II) и Zn(II) в объектах окружающей среды актуальны в рамках научного сообщества, учитывая необходимость обеспечения экологической безопасности и охраны

здоровья населения во всем мире.

В республике созданы условия для проведения исследований по разработке эффективных, экспрессных и экономичных методов разделения и определения ионов меди, цинка и железа в составе сточных и техногенных вод, образующихся на предприятиях химической промышленности. В стратегии ускоренного развития нашей страны «Узбекистан-2030»<sup>1</sup> определены приоритетные направления экономического развития, основанные на глубокой переработке местного сырья, увеличении выпуска готовой продукции с высокой добавленной стоимостью, развитии качественной разработки новых видов продукции и технологий. В связи с этим особое внимание уделяется развитию современных сорбционно-спектроскопических методов обнаружения ионов различных тяжелых, токсичных металлов в объектах окружающей среды. В этой области достигнуты научные и практические результаты по целевому использованию местного сырья и разработке инновационных методов, а также по определению ионов меди, цинка и железа в объектах окружающей среды. Для повышения чувствительности, эффективности и селективности этих методов разрабатываются сорбционно-спектроскопические методики. Разработка чувствительных, быстрых и удобных методов разделения и определения ионов тяжелых металлов в сточных водах химических производств нашей республики имеет большое значение.

Данная диссертационная работа в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Указе Президента Республики Узбекистан № УП-5863 от 30 октября 2019 года «Об утверждении Концепции охраны окружающей среды Республики Узбекистан до 2030 года», Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № ПКМ-95 от 18 февраля 2020 года «Об утверждении общего технического регламента об экологической безопасности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Данная диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики VII «Химические технологии и нанотехнологии».

#### **Обзор международных научных исследований по теме диссертации<sup>2</sup>.**

В настоящее время научному сообществу известен ряд методик, которые могут быть использованы для определения присутствия тяжелых и токсичных металлов. Тем не менее, по мере развития аналитических методов возрастает потребность в повышенной чувствительности и селективности определения элементов. Это обуславливает необходимость поиска новых подходов для удовлетворения этих растущих требований. Одним из таких методов является

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 года №УП-158 «Узбекистане–2030»

<sup>2</sup> Обзор зарубежных исследований по теме диссертации подготовлен по <http://www.scholar.google.com>, <http://www.sciencedirect.com>. и материалам из других источников

гибридный сорбционно-атомно-абсорбционный подход с использованием иммобилизованных органических реагентов (ИМОП). Гибридные методы, сочетающие сорбцию и спектроскопию, становятся все более популярными в аналитической химии благодаря высокой чувствительности и селективности. Эти методы облегчают целенаправленное предварительное концентрирование ионов, которые затем могут быть проанализированы такими спектроскопическими методами, как атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС), плазменно-эмиссионная спектроскопия (ИСП-АЭС) и ультрафиолетово-видимая спектроскопия (УФ-Вид спектроскопия). Эти методы широко используются в исследовательских лабораториях во всем мире, в том числе Massachusetts Institute of Technology (США), ETH Zurich (Швейцария), Helmholtz Centre for Environmental Research (Германия), Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Швейцария), National Institute of Standards and Technology (США), University of Cambridge (США), Institute of Environmental Assessment and Water Research (Испания), Institute of Environmental Assessment and Water Research (Испания), Lawrence Berkeley National Laboratory (США), Московский государственный университет (Россия), Российский химико-технологический университет (Россия), Институт аналитической химии РАН им. В.И. Вернадского (Россия), Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН (Россия), Tsinghua University (Цинхуа, Пекин), Peking University (Пекин), Самаркандский государственный университет (Узбекистан), Национальном Университете Узбекистана (Узбекистан).

Во всем мире ведутся исследования по ряду перспективных работ, направленных на создание высокочувствительных химических сенсоров для обнаружения тяжелых и токсичных металлов. Эти приоритеты включают разработку более надежных, быстрых и экономически эффективных методов обнаружения токсичных и тяжелых металлов. В результате проведенных исследований в мире получен ряд научных результатов, в том числе: концентрации меди и цинка в минеральных водах определены методом атомной спектроскопии с предварительной экстракцией металлов (Малдова); цинк, хром, кадмий, медь, никель, свинец, железо, марганец, магний и кальций были определены атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES) (Польша); разработана новая методика прямого определения Cd, Co, Cr, Cu, Mn и Ni методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Исследован потенциал аскорбиновой и щавелевой кислот в сочетании с нитратом магния в качестве химических модификаторов (Россия); разработаны сорбционно-фотометрические методы определения токсичных и тяжелых металлов с использованием иммобилизованных азореагентов и трифенилметановых красителей (Узбекистан).

Во всем мире ведутся исследования по ряду перспективных направлений на разработку высокочувствительных химических сенсоров для определения тяжелых и токсичных металлов. Приоритетными направлениями этих исследований является разработка более надежных, быстрых и экономически

эффективных методов определения тяжелых и токсичных металлов. За счет разработки надежных, быстрых и экономически эффективных методов обнаружения токсичных и тяжелых металлов, повышения чувствительности, селективности и экспрессивности существующих методов, создания чувствительных сенсорных слоев на основе разработанных методов, а также разработки высокопроизводительных малогабаритных Датчики для решения промышленных проблем фокусируются на решении медицинских, судебно-медицинских и экологических проблем.

#### **Степень изученности проблемы.**

Разработка и валидация сорбционно-спектроскопических методик для анализа ионов металлов в окружающей среде является весьма важной проблемой. Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи, остаются области, требующие дальнейшего изучения, особенно в отношении уменьшения влияния матрицы, повышения стабильности сорбентов и разработки мультианалитических и автоматизированных систем. В свете растущих экологических проблем эти методы будут по-прежнему играть важную роль в масштабах по защите окружающей среды и контролю загрязнений.

Разработка быстрых, высокоселективных сорбционно-спектроскопических методов анализа с использованием ИМОП на различных матрицах является предметом интенсивных исследований в ведущих научных центрах мира. В это направлении исследований внесли вклад следующие зарубежные учёные: Ю.А. Золотов, Шпигун О.А., Шеховцова Т.Н., О.В. Кузнецов, В.В. Опенко, А.В. Данилова, В.П. Дедкова, М.А. Бабуев, С.Д. Татаева, С. Токалиоглу, М. Сойлак, С. Валас, А. Тобиак, Г. Цогац, М.С. Эбра-Бьюррун, А. Бермехо-Баррера, Ш. Тивари, Р. Сакс, Р. Сакс. Тивари, Р. Саксена, Н. Пурреза и Р. Ховеизави занимающиеся научными исследованиями в области сорбционно-спектроскопических и сорбционно-атомно-абсорбционных методов определения ионов тяжелых металлов. В их исследованиях в качестве подложек для органических реагентов используются различные силикагели, модифицированный кремнезем, природные цеолиты, полимерные мембраны и другие материалы.

В нашей стране в области сорбционно-спектроскопического определения ионов тяжелых металлов проводили исследования Джиянбаева Р.Х., Кабулов Б.Д., Шестерова И.П., Геворгян А.М., Сманова З.А., Турабов Н.Т., Абдурахманов Э., Насимов А. М. и др. Но до сих пор не проводились исследования по сорбционно-атомно-абсорбционному определению ионов меди, железа и цинка с применением иммобилизованных азо- и трифенилметановых красителей.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательской работой высшего учебного заведения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках фундаментальных и прикладных проектов плана научно-исследовательских работ Национального университета Узбекистана: Ф-7-48 «Исследование механизма фазового изменения наночастиц металлов, иммобилизованных на поверхности

полимерных материалов» (2017-2020 гг.), ФЗ-20171024243 «Исследование физико-химических свойств иммобилизованных азореагентов при определении ионов кобальта и железа» (2018-2019 гг.), ФЗ-201908098 «Очистка каолинов от оксидов железа» (2020-2022 гг.).

**Целью исследования** является разработка экспрессных, селективных и гибридных сорбционно-спектроскопических методов определения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) в объектах окружающей среды с применением иммобилизованных органических реагентов.

**Задачи исследования:**

выбор селективных органических реагентов и ионнообменных сорбентов для определения ионов меди(II), железа(III) и цинка, оптимизация иммобилизации органических реагентов на полимерных носителях, а также выбор оптимальных условий сорбционно-спектроскопического определения ионов меди(II), железа(III) и цинка с сохранением их аналитических параметров;

для устранения погрешности разработанного метода проведены фоновая коррекция, оптимизация длин волн, использование стандартных растворов для калибровки, применение контрольных образцов для проверки воспроизводимости и учет матричных эффектов для повышения надежности результатов, а также определение закономерностей сорбционно-спектроскопического анализа для определения цинка, железа и меди;

определение химизма комплексообразования иммобилизованных органических реагентов с ионами меди(II), железа(III) и цинка с использованием методов ИК-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа, спектрофотометрии, спектроскопии диффузного отражения и нахождение констант равновесия;

определение соответствия закономерностей комплексообразования, полученных в растворе и в твердой фазе и их сравнение, а также повышение их устойчивости;

нахождение нижних пределов обнаружения для ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) с использованием разработанного сорбционно-спектроскопического метода и его применение для анализа объектов окружающей среды, содержащих исследуемые ионы;

разработка высокочувствительных и селективных методов сорбционно-спектроскопического определения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) в объектах окружающей среды и пищевых продуктах;

оценка основных аналитических параметров методов (линейность, пределы обнаружения, пределы количественного определения, точность, воспроизводимость) с использованием сертифицированных контрольных материалов для валидации разработанного метода;

**Объектом исследования** является усовершенствование сорбционно-спектроскопического метода при анализе различных объектов окружающей среды, а также природных и сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов, стандартных образцы и пищевые продукты.

**Предметом исследования** является разработка сорбционно-спектроскопических методов определения ионов меди, железа и цинка, а также их соединений с использованием иммобилизованных органических реагентов: торона I, сульфасалициловой кислоты, феррона и ализаринового красного С на сорбенте ППФ-1.

**Методы исследования.** В качестве методов исследования были выбраны спектроскопические (спектрофотометрический, спектрокопия диффузного отражения, сорбционно-спектроскопический, сорбционно-атомно-абсорбционный) и статистические методы расчета полученных данных. Используются также методы сканирующей электронной микроскопии, рентгенофлуоресцентный анализ, электрохимические методы, ИК-спектрокопия и квантово-химические расчеты.

**Научная новизна исследования заключается в:**

иммобилизации органических реагентов на носителях: торона I, сульфасалициловой кислоты, феррона и ализаринового красного С за счет аналитическо-активных групп в слабо кислой среде, что приводит к увеличению чувствительности в 100 раз благодаря процессу концентрирования;

выборе оптимальных условий комплексообразования и иммобилизации органических реагентов (торон I, сульфасалициловая кислота, феррон и ализариновый красный С) на носителе ППФ-1, с ионами меди(II), железа(III) и цинка в универсальных буферных смесях (Бритон-Робинсон), при оптимизированных значениях pH;

при атомно-абсорбционном определении ионов Cu(II), Zn и Fe(III) при щелях монохроматора 0,7 нм и 0,2 нм, топливом для пламенной атомизации является ацетилен-воздух, длина волны резонансной линии составляет 324. Установлено, что закон Бугера-Ламберта-Бера соблюдался при 1-5 мкг/л, когда скорость обнаружения ионов металлов составляла 7, 8, 9 минут при 0,8 нм, 243,8 нм и 213,9 нм;

комплексообразования между ионами меди(II), железа(III) и цинка(II) с иммобилизованными на твердой фазе торонем I, сульфасалициловой кислотой, ферроном и ализариновым красным С происходит также как и в растворе за счет функционально активных карбоксильных, гидроксильных и диазогрупп, было установлено, что устойчивость комплексов увеличиваются в 100 раз по сравнению с раствором, а их значения составляют ( $\beta_{\text{CuТорон(тв.фаза)}}=5,95 \cdot 10^{11} > \beta_{\text{CuТорон(раствор)}}=2,13 \cdot 10^9$ ,  $\beta_{\text{FeССК(тв.фаза)}}=2,48 \cdot 10^{10} > \beta_{\text{FeССК(раствор)}}=3,85 \cdot 10^8$  и  $\beta_{\text{ZnАКС(тв. фаза)}}=8,15 \cdot 10^{15} > \beta_{\text{ZnАКС(раствор)}}=10,42 \cdot 10^{13}$ ), что соответствует закономерности уменьшения радиусов ионов металлов:  $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ ;

батохромные сдвиги максимумов поглощения света комплексов ионов меди(II), железа(III) и цинка, образованных с выбранными иммобилизованными органическими реагентами, по длине волны  $\Delta\lambda_{\text{FeL}}=20$  нм,  $\Delta\lambda_{\text{ZnL}}=13$  нм и  $\Delta\lambda_{\text{CuL}}=10$  нм по сравнению с водной средой, подтверждающий, что органические реагенты, иммобилизованные на полимерных носителях в

твёрдой фазе более устойчивы чем в растворе за счет отсутствия уменьшения электростатических сил притяжения;

разработанным методом установлены нижние пределы обнаружения для ионов меди, железа и цинка: 1 мкг/л для меди, 6 мкг/л для цинка и 5 мкг/л для железа. При применении метода для анализа искусственных смесей и окружающих реальных объектов было доказано, что относительное стандартное отклонение не превышает 0,023;

разработанный метод определения ионов меди, железа и цинка, примененный для анализа воды и пищевых продуктов, сравнен с другими ГОСТ методами и валидирован. Линейность результатов и отсутствие систематических ошибок были подтверждены с использованием критериев Стьюдента и Фишера.

**Практические результаты исследования заключаются в следующем:**

с использованием иммобилизованного торона I, сульфосалициловой кислоты, феррона и ализаринового красного С разработаны селективные и чувствительные сорбционно-спектроскопические методы определения ионов меди(II), цинка и железа(III), которые применены к анализу различных типов вод (природные, сточные и питьевые воды и др.);

разработан гибридный, селективный и чувствительный сорбционно-спектроскопический метод, основанный на определении ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) с использованием иммобилизованных реагентов, который испытан и внедрен в практику анализа в центральном аналитической лаборатории АО «Электрохимзавод», АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» и АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», а также в производстве сточных вод Навоийской и Ташкентской областей;

предлагаемый сорбционно-спектроскопический метод применен к анализу различных объектов окружающей среды позволяющий улучшить метрологические характеристики, такие как чувствительность, точность, воспроизводимость, с использованием иммобилизованного торона I, сульфосалициловой кислоты, феррона и АКС.

**Достоверность полученных результатов** исследования подтверждается полученными экспериментальными результатами современных методов анализа, таких как ИК-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ, оптическая молекулярная и атомно-абсорбционная спектроскопия, а также на основе общепринятых стандартов, методом «введено-найдено» и сравнен с методами ГОСТ 54276-2010, ГОСТ 4011-72, инверсионной вольтамперометрии и спектрофотометрии. Полученные результаты были обработаны различными методами математической статистики (критерии Стьюдента, Фишера и др.).

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований заключается в выявлении закономерностей иммобилизации торона I, сульфосалициловой кислоты,

феррона и АКС на волокнистый сорбент ППФ-1, повышении селективности определения ионов  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Fe(III)}$  и  $\text{Zn(II)}$ . Улучшены аналитические и метрологические характеристики гибридного сорбционно-спектроскопического определения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) за счет иммобилизации органических реагентов.

Практическая значимость исследований заключается в использовании разработанных сорбционно-спектроскопических методик обнаружения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) применении для анализа объектов окружающей среды (природные, сточные и питьевые воды, пищевые продукты, почва и т. д.) и улучшения метрологических и аналитических показателей.

**Внедрение результатов исследования.** На основании результатов исследований по разработке сорбционно-спектроскопического метода определения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) из промышленных сточных вод:

методики гибридного сорбционно-спектроскопического метода определения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) иммобилизованными органическими реагентами использованы в практике АО «Электрохимзавод» (Справка АО «Электрохимзавод» №17 от 21 декабря 2023 г). Экспериментальные результаты предложенных гибридных сорбционно-спектроскопических методов демонстрируют превосходство по сравнению с другими физическими и физико-химическими методами, особенно в отношении точности, селективности и способности определять разнообразные содержания, а также экспрессности анализа. Это особенно заметно при определении ионов железа (III);

сорбционно-спектроскопический метод определения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) иммобилизованными органическими реагентами испытан и рекомендован к применению на практике в аналитической лаборатории АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» Ташкентской области при анализе сточных вод (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» № 572 от 1 июля 2024 года). В результате разработанный сорбционно-спектроскопический метод позволил определить ионы меди(II), железа(III) и цинка(II) из состава цинкового электролита и был рекомендован к практическому использованию;

метод обнаружения ионов меди(II), железа(III) и цинка(II) иммобилизованными органическими реагентами испытан и рекомендован к применению при анализе объектов, содержащих  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Fe(III)}$  и  $\text{Zn(II)}$  в аналитической лаборатории АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» при анализе сточных вод (справка акционерного общества «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 23.01-01-07/159 от 13 апреля 2024 года). В результате подчеркнута важность определения ионов  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Fe(III)}$  и  $\text{Zn(II)}$  в лаборатории анализа сточных вод АО «НКМК» в соответствии с критериями указанными в нормативно-технических документах при решении экономических и экологических проблем.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 19, в том числе 4 международных и 15 Республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 31 научных работ, из них 12 научных статей, в том числе 10 в Республиканских изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, 4 статьи в международных журналах, индексируемых в базах Scopus и WoS.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 200 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен список внедрений в практику результатов исследования и сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Прикладные аспекты определения ионов меди, цинка и железа (обзор литературы)»** представлен анализ имеющихся данных по ионам меди, цинка и железа, физико-химическим методам их определения, различным сорбентам и органическим реагентам, применяемых в процессе определения атомно-абсорбционным и сорбционно-атомно-абсорбционным методами.

Систематизированы результаты определения ионов меди, цинка и железа органическими реагентами в различных объектах. Согласно литературным данным используют фотометрическое определение железа реагентами сульфосалициловой кислоты и ферроном, но отсутствуют данные о иммобилизации сульфосалициловой кислотой с предварительным концентрированием на различные матрицы с последующим атомно-абсорбционным спектроскопическим определением. Также было обнаружено, что свойства комплекса торона I с ионами Cu(II) и АКС с ионами Zn(II) не изучались или мало изучены в литературе.

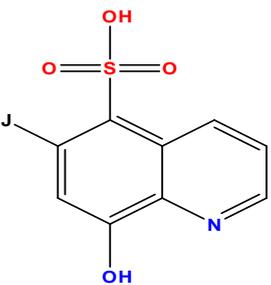
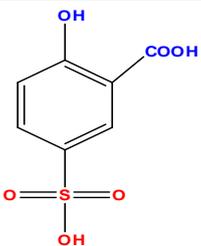
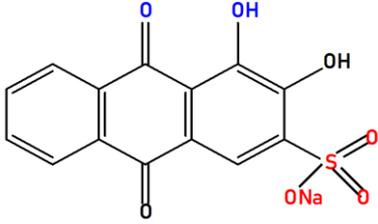
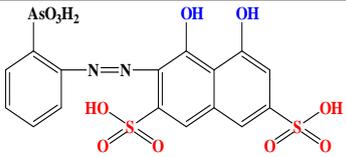
Во второй главе диссертации **«Используемые реактивы, оборудование и вспомогательные устройства для определения ионов меди(II), цинка(II) и железа(III). Методика проведения эксперимента»** приведены приборы, оборудование, реактивы, методы приготовления стандартных и рабочих растворов ионов меди(II), цинка(II) и железа(III) и

органических реагентов, использованные в ходе исследования.

Структурные формулы торона I, АКС, феррона и сульфосалициловой кислоты, применяемых в исследовании, приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

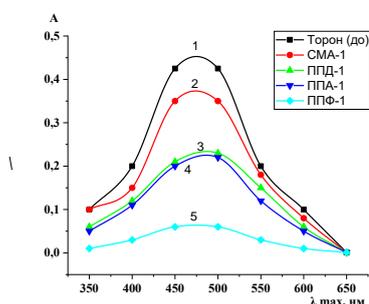
**Органические реагенты, использованные в исследованиях**

Структурная формула	Номенклатурное название	Брутто формула	Максимум в спектре поглощения $\lambda_R$ , нм
	Феррон (6-иод-8-оксихинолин-5-сульфо кислота)	$C_9H_6NO_4SI$	445
	Сульфосалициловая кислота (2-гидрокси-5-сульфобензойная кислота)	$C_7H_6O_6S$	216
	Ализариновый красный С (Натриевая соль 9,10-дигидро-3,4-дигидрокси-9,10-диоксо-2-антраценсульфо кислоты)	$C_{14}H_7NaO_7S$	422
	Торон I (4-[(2-арсонофенил)азо]-3-гидрокси-2,7-нафталин-дисульфокислота)	$C_{16}H_{13}AsN_2O_{10}S_2$	480

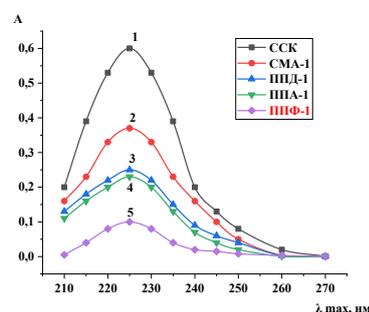
В третьей главе диссертации «Подбор оптимальных условий иммобилизации органических реагентов на носителе и комплексообразование ионов  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  и  $Fe(III)$ » приведены оптимальные условия иммобилизации торона I, АКС, феррона и ССК и механизмы комплексообразования их с ионами  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  и  $Fe(III)$  (выбор оптимального сорбента, влияние среды раствора, подчинение закону Бугера-Ламберта-Бера). Определены молярные соотношения металлов и реагентов в составе комплексов, вычислены истинные молярные коэффициенты, константы равновесий реакций и константы устойчивости комплексов меди,

цинка и железа с иммобилизованными органическими реагентами.

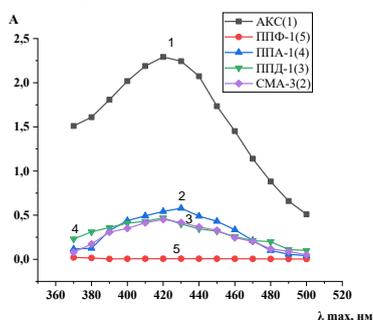
Изучены спектры поглощения и отражения раствора органическими реагентами торон I, ССК, феррон и АКС сорбентов до и после проведения иммобилизации (рис. 1-4).



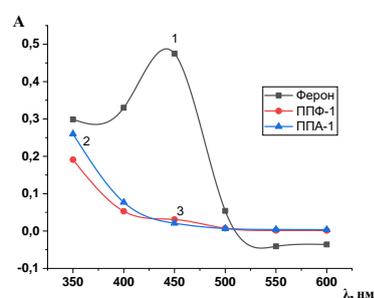
**Рис.1.** Спектры поглощения реагента торон I до (1) и после (2– СМА-1, 3 – ППД-1, 4 – ППА-1, 5 – ППФ-1) иммобилизации ( $C_R=20$  мкг/мл,  $m_{\text{сорб.}}=0,2$  г,  $V_R=10$  мл,  $t=2$  мин).



**Рис.2.** Спектры поглощения реагента ССК до (1) и после (2– СМА-1, 3 – ППД-1, 4 – ППА-1, 5 – ППФ-1) иммобилизации ( $C_R=10\%$ ,  $m_{\text{сорб.}}=0,2$  г,  $V_R=10$  мл,  $t=7$  мин).



**Рис.3.** Спектры поглощения реагента АКС до (1) и после (2– ППА-1, 3 – СМА-1, 4 – ППД-1, 5 – ППФ-1) иммобилизации ( $C_R=5 \times 10^{-5}$  М,  $m_{\text{сорб.}}=0,2$  г,  $V_R=10$  мл,  $t=2$  мин).

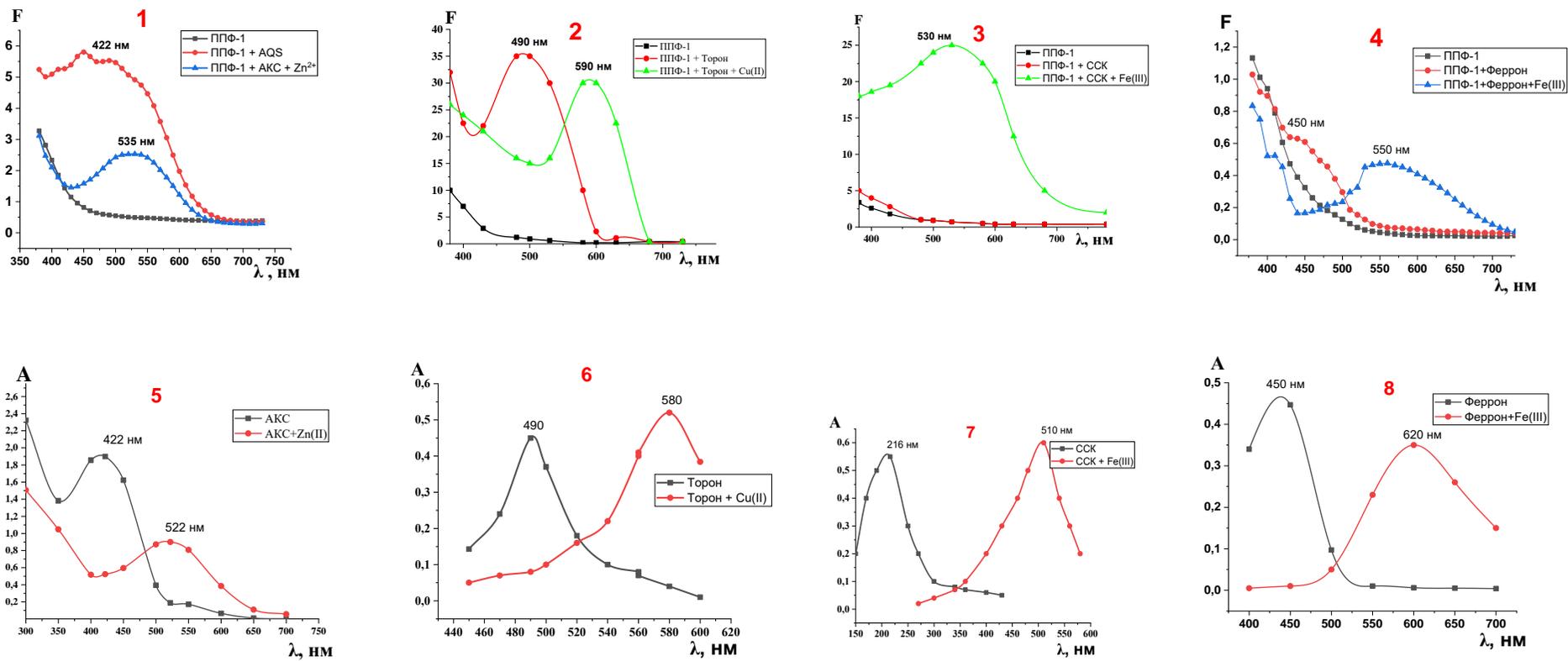


**Рис.4.** Спектры поглощения реагента торон I до (1) и после (2– ППА-1, 3 – ППФ-1) иммобилизации ( $C_R=5 \times 10^{-4}$  М,  $m_{\text{сорб.}}=0,2$  г,  $V_R=10$  мл,  $t=4$  мин).

Как видно из рис. 1–4, максимальный аналитический сигнал в спектре поглощения растворов реагентов торона I, ССК, АКС и феррона наблюдается при длинах волн 490, 216, 422 и 620 нм соответственно. Уменьшение оптической плотности растворов органических реагентов служит основанием для вывода об их иммобилизации.

Оптимальным сорбентом для иммобилизации органическими реагентами является сорбент ППФ-1, синтезированный на кафедре химии полимеров Национального университета Узбекистана. Максимальный аналитический сигнал для торона I, ССК, АКС и феррона регистрируется при длинах волн 490, 216, 422 и 620 нм соответственно, что соответствует спектрам поглощения растворов этих реагентов.

Ионы  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Zn(II)}$  и  $\text{Fe(III)}$  были исследованы с использованием иммобилизованных реагентов торона I, ССК, АКС и феррона методом спектроскопии диффузного отражения в твердой фазе, а также методом спектрофотометрии поглощения в водной среде для анализа реагентов и их комплексов (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость коэффициента диффузного отражения (функция Кубелки-Мунка) света от длины волны для матриц: 1-ППФ-1/АКС/ Zn(II), 2- ППФ-1/Торон/Cu(II), 3-ППФ-1/ССК/Fe(III),4- ППФ-1/Феррон/Fe(III)) и спектра поглощения: 5- АКС/Zn(II) + АКС, 6- Торон/Fe(III)+Торон, 7-ССК/Fe(III)+ССК, 8-Феррон/Fe(III)+Феррон.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что в спектроскопии диффузного отражения на матрице ППФ-1/АКС/Zn(II) батохромный сдвиг составляет  $\Delta\lambda_{\text{MeАКС}} = 13$  нм, на матрице ППФ-1/Торон I/Cu(II) —  $\Delta\lambda_{\text{MeТорон}} = 10$  нм, а на матрице ППФ-1/ССК/Fe(III) —  $\Delta\lambda_{\text{MeССК}} = 20$  нм. Это свидетельствует об увеличении устойчивости комплексных соединений, что обусловлено прочным закреплением органических реагентов на полимерных носителях в твердой фазе а также снижением электростатических сил притяжения по сравнению с раствором.

Определены спектральные характеристики комплекса ионов Cu(II) с иммобилизованным тороном, Zn(II) с иммобилизованным АКС, комплекса Fe (III) с иммобилизованными ферроном и сульфосалициловой кислотой при оптимальных условиях (табл. 2).

**Таблица 2**

**Оптимизация условий комплексообразования ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) с иммобилизованными тороном I, АКС, ферроном и сульфосалициловой кислотой**

Ион металла	Реагент	Цвет комплекса	$\lambda_{\text{нр}}, \text{нм}$	pH	Максимум спектра поглощения в водной среде, нм	Максимум спектра диффузного отражения в твердой фазе, нм	$\Delta\lambda_{\text{мел}}, \text{нм}$	Объем реагента, мл	Масса сорбента, г
Cu(II)	Торон I	Тёмно-синий	490	5-5,5	580	590	10	10,0	0,20
Zn(III)	АКС	Красно-фиолетовый	216	5-6	522	535	13		
Fe(III)	ССК	Темно-красный	422	2-2,5	510	530	20		
Fe(III)	Феррон	Темно-зелёный	445	2-3	620	550	70		

Как видно из данных таблицы 2 комплексы ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) с иммобилизованными тороном I, АКС, ферроном и сульфосалициловой кислотой имеют высокую контрастность, что даёт возможность применения данных органических реагентов в качестве чувствительных аналитических реагентов. Последующие исследования определения ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) иммобилизованными тороном I, АКС, ферроном и сульфосалициловой кислотой проводились в подобранных оптимальных условиях.

В четвертой главе диссертации «**Оптимизация условий сорбционно-атомно-абсорбционного определения ионов меди(II), цинка(II) и железа(III)**» подобраны параметры атомно-абсорбционного спектрометра, влияющие на аналитический сигнал - ширина монохроматорной щели, состав горючего для атомизации ионов, найдены зависимости аналитического сигнала от состава десорбента, ее концентрации и объема, от концентрации ионов металлов и др. Представлена разработанная методика сорбционно-атомно-абсорбционного определения ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III). На основании проведенных опытов были найдены оптимальные условия

сорбционно-атомно-абсорбционного определения ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) (табл. 3).

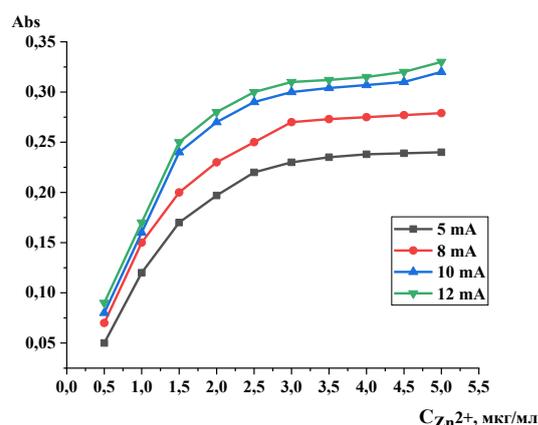
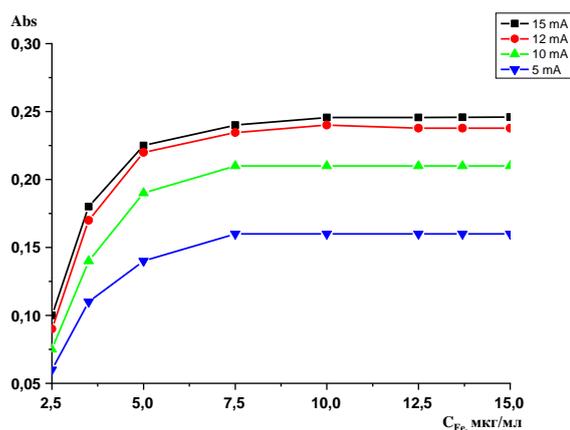
Определены зависимости аналитического сигнала при различных значениях потоков тока лампы с полым катодом в атомно-абсорбционном спектрометрическом анализе с пламенной атомизацией от концентрации Fe(III) (рис.7.)

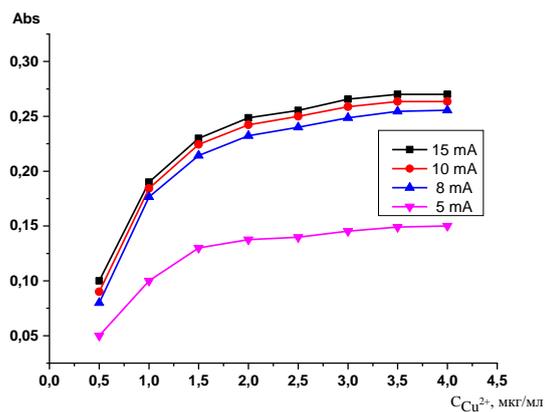
Построены кривые зависимости нижних определений заданных элементов от относительного стандартного отклонения разработанного метода (рис. 8).

Таблица 4

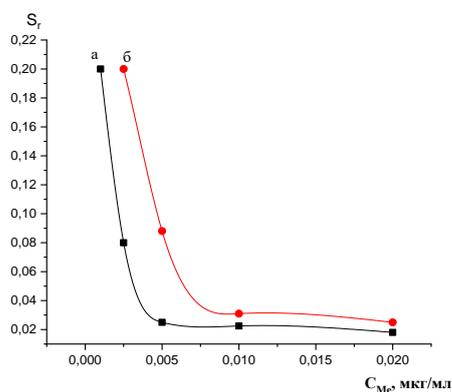
**Оптимальные условия сорбционно-атомно-абсорбционного определения ионов Cu(II) и Fe(III) и Zn(II)**

Элемент	Cu(II)	Fe(II)	Zn(II)
Длина волны резонансной линии, нм	324,8	243,8	213,9
Ширина щели монохроматора, нм	0,7	0,2	0,7
Ток лампы с полым катодом, мА	8	12	8
Горючая смесь для атомизации ионов	Окислительная воздушно-ацетиленовая смесь	Ацетилен-воздух	Ацетилен-воздух
Предел обнаружения элемента (пламенная атомизация ААС, по разработанному методу, мкг/мл)	0,001	0,005	0,02-0,06
Концентрация и объем десорбента	15 мл 0,2 М HNO <sub>3</sub>	15 мл 0,5 М HNO <sub>3</sub>	10 мл 0,2 М HNO <sub>3</sub>





**Рис.7.** Зависимость аналитического сигнала при различном токе лампы с полым катодом от концентрации ионов железа(III) (а), цинка(II) (б) и меди(II) (с).



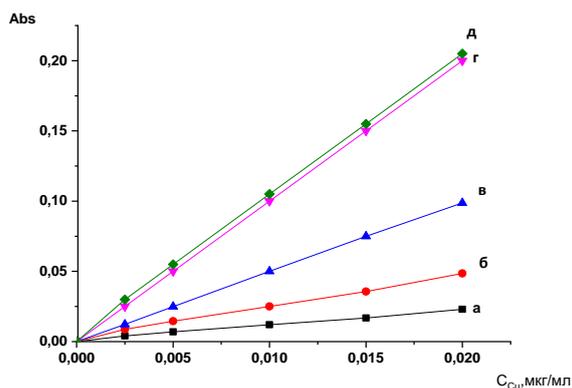
**Рис. 8.** Зависимость относительного стандартного отклонения результатов сорбционно-атомно-абсорбционного определения Cu(II) (а) и Fe(III) (б) от их пределов обнаружения.

Как видно на рис.7 аналитический сигнал атомно-абсорбционного спектрометра регистрируется при 5 мА токе лампы с полым катодом менее чем остальные, в то время как при 10, 12 и 15 мА токах лампы наблюдается близкий аналитический сигнал. Учитывая это, для определения железа, цинка и меди выбран оптимальный ток: 12 мА, 10 мА и 8 мА соответственно.

Как видно из рис.8, в соответствии с методом «введено-найдено» с помощью разработанного метода определены пределы обнаружения ионов Cu(II) и Fe(III), которые равны 0,001 и 0,005 мкг/мл.

Определена зависимость величины аналитического сигнала при сорбционно-атомно-абсорбционном определении меди от концентрации металла в растворе при различных значениях времени концентрирования. Результаты приведены на рис. 9.

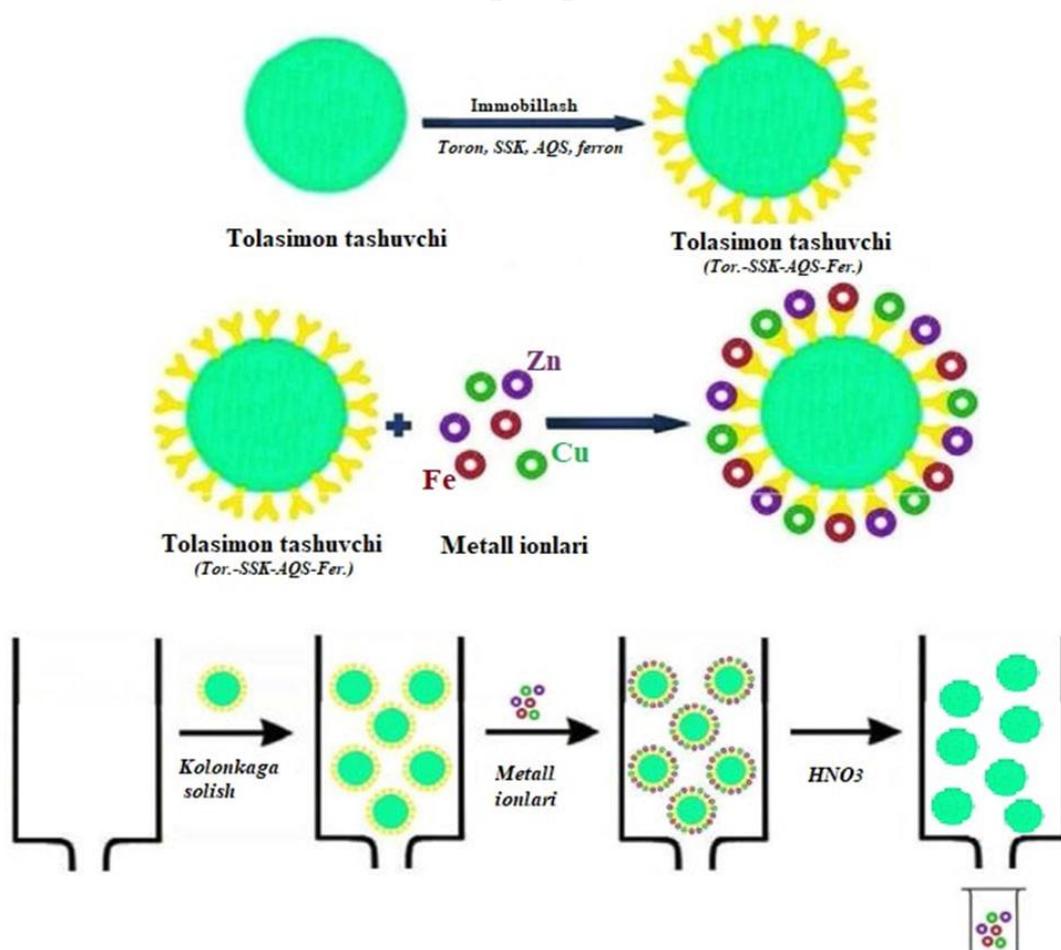
Как видно из рис.9 повышение времени концентрирования металла пропорционально приводит к увеличению угла наклона градуировочной зависимости и соответственно, чувствительности определения меди в растворе.



**Рис.9.** Зависимость величины аналитического сигнала при сорбционно-атомно-абсорбционном определении ионов  $Cu(II)$  от их концентрации металла в растворе при различных значениях времени концентрирования (мин): а-0,5; б-1; в-2; г-5, д-7.

При концентрировании в течении 5 мин. увеличение чувствительности определения меди достигается в 10 раз. При последующем продолжении времени концентрирования аналитический сигнал изменялся незначительно, что стало основой для выбора оптимального времени концентрирования 5 мин. .

Разработанная сорбционно-атомо-абсорбционная схема определения ионов  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  и  $Fe(III)$  показанф на рис. 10.



**Рис. 10.** Применение волокнистого носителя и иммобилизация органических реагентов (торона I, сульфасалициловой кислоты, феррона и ализаринового красного С) для селективного извлечения ионов  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  и  $Fe(III)$  из растворов.

В пятой главе диссертации «Спектральное изучение комплексообразования ионов меди, цинка и железа иммобилизованными торон I, АКС, феррон и ССК» приведены результаты ИК-спектроскопических, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгенофлуоресцентных анализов определения состава и строения комплексов ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) с иммобилизованными тороном, АКС, ферроном и ССК на сорбенте ППФ-1.

Для определения механизма взаимодействия и нахождения состава комплексов ионов Cu(II) с иммобилизованным реагентом торон I на сорбенте ППФ-1, ионов Zn(II) с иммобилизованным реагентом АКС на сорбенте ППФ-1 и ионов Fe(III) с иммобилизованной феррон и ССК на сорбенте ППФ-1 были изучены ИК-спектроскопическими, сканирующей электронной микроскопией и рентгенофлуоресцентными методами анализа. На рисунке 11 представлен ИК-спектр ССК, в рисунках 11, 12, 13 и таблице 5 — результаты ИК-спектроскопического анализа сорбента ППФ-1, на который иммобилизован ССК, а также комплекса, образованного с ионом Fe(III), а на рисунке 14 — результаты ИК-спектроскопического анализа сорбента PPF-1, на который иммобилизован АКС и комплекса, образованного с ионом Zn(II).

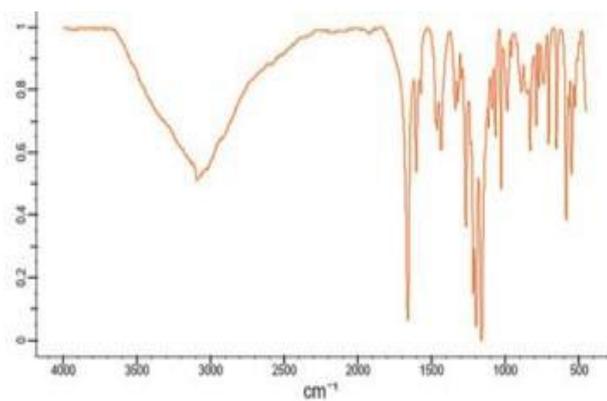


Рис.11. ИК-спектр ССК.

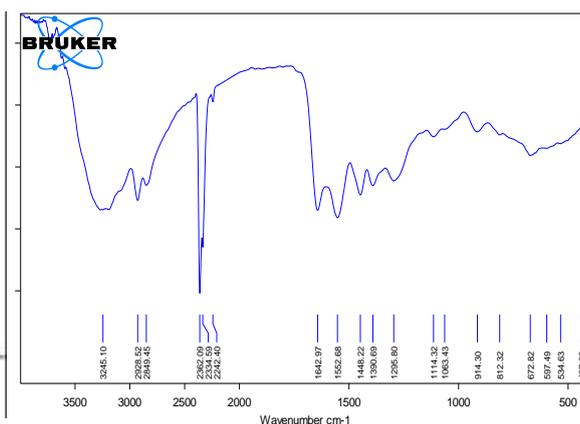


Рис.12. ИК-спектры сорбента ППФ-1

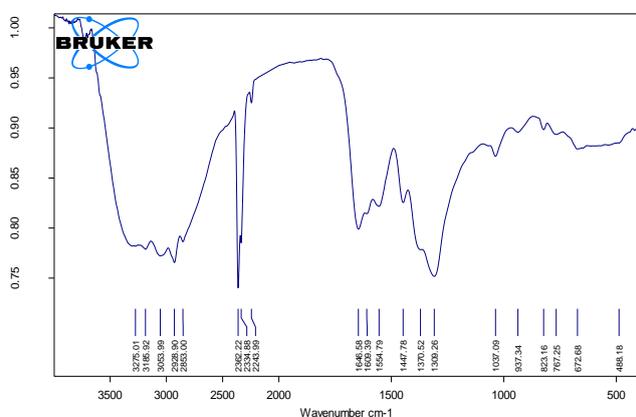


Рис.13. ИК-спектр иммобилизованной ССК на сорбенте ППФ-1.

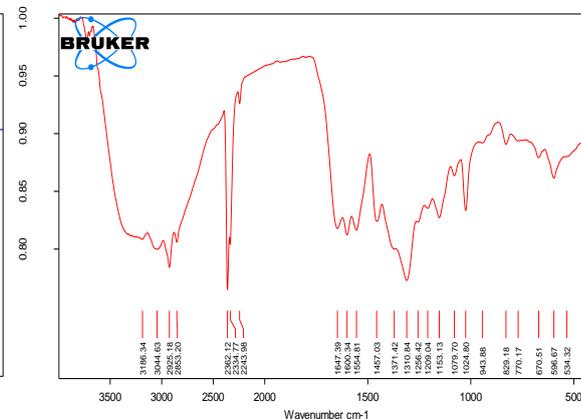


Рис.14. ИК-спектр комплекса иона Fe(III) с иммобилизованной ССК на сорбенте ППФ-1.

Таблица 5

Результаты анализа ИК-спектров сорбента ППФ-1, иммобилизованного на нем ССК и комплекса ионов Fe(III) с иммобилизованной ССК

Функциональные группы	$\nu_{\text{ППФ-1}}, \text{см}^{-1}$	$\nu_{\text{ИМР (ССК)}, \text{см}^{-1}}$	$\nu_{\text{комп Fe}}, \text{см}^{-1}$
-ОН	3245,10	3330-3184	3330-3186
-CH <sub>2</sub> -	2928-2849	3030-2848	3044-2853
-P-H	2362	2362	2362
-P-O	1448	1448	1457
-N-H	1642	1627-1579	1647-1554
-C-H (Ar)	-	3053	3044
-C-O	-	1309	1310
-C=C- (Ar)	-	1609-1554	1600-1554
-S=O	-	1037	1079
-O-Me	-	-	670-534

Из результатов ИК-спектроскопического анализа видно, что после иммобилизации реагента ССК на сорбент ППФ-1 наблюдается новая полоса поглощения в областях  $3053 \text{ см}^{-1}$ , соответствующая связи  $-\text{C}-\text{H} (\text{sp}^2)$  ароматического кольца реагента, колебания в области  $1609-1554 \text{ см}^{-1}$  характерные для связи  $-\text{C}=\text{C}-$  ароматического кольца, полоса поглощения в области  $1309 \text{ см}^{-1}$  свидетельствует о наличии связи  $-\text{C}-\text{O}$  карбоксильной группы и расширение в области  $3330-3184 \text{ см}^{-1}$  характерное для  $-\text{OH}$  группы. Данные изменения свидетельствуют о иммобилизации реагента ССК на сорбенте ППФ-1. При изучении ИК-спектра комплекса Fe(III) с иммобилизованной ССК наблюдаются полосы поглощения в области  $670-534 \text{ см}^{-1}$ , характерные для связи  $-\text{O}-\text{Me}$  (рис. 15).

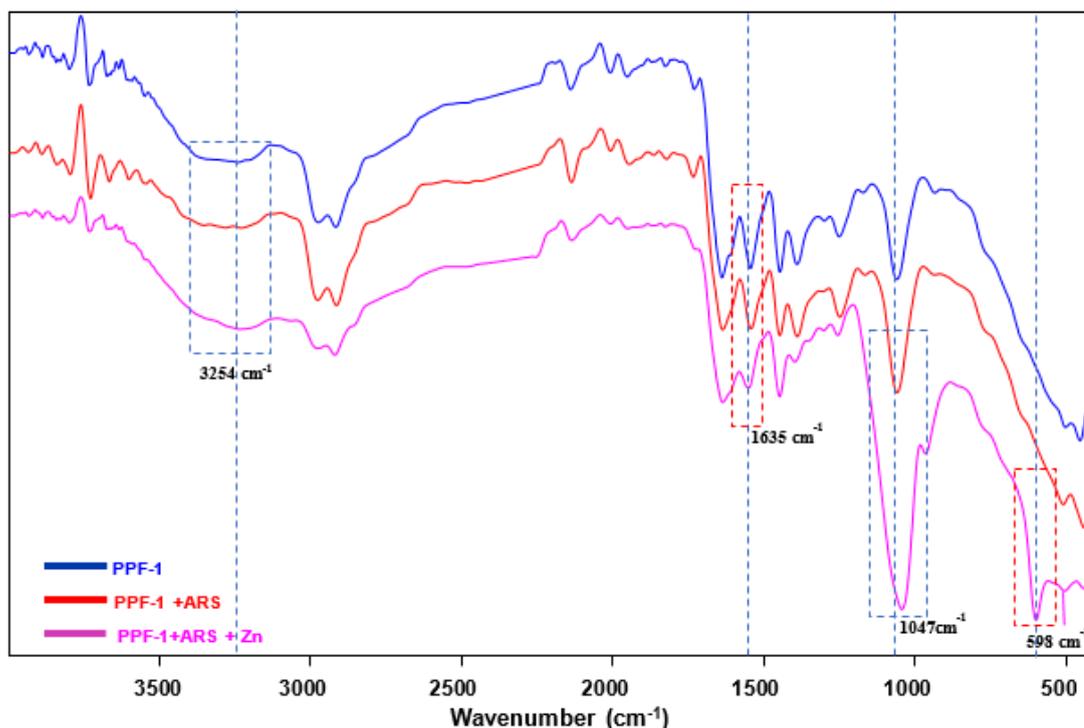
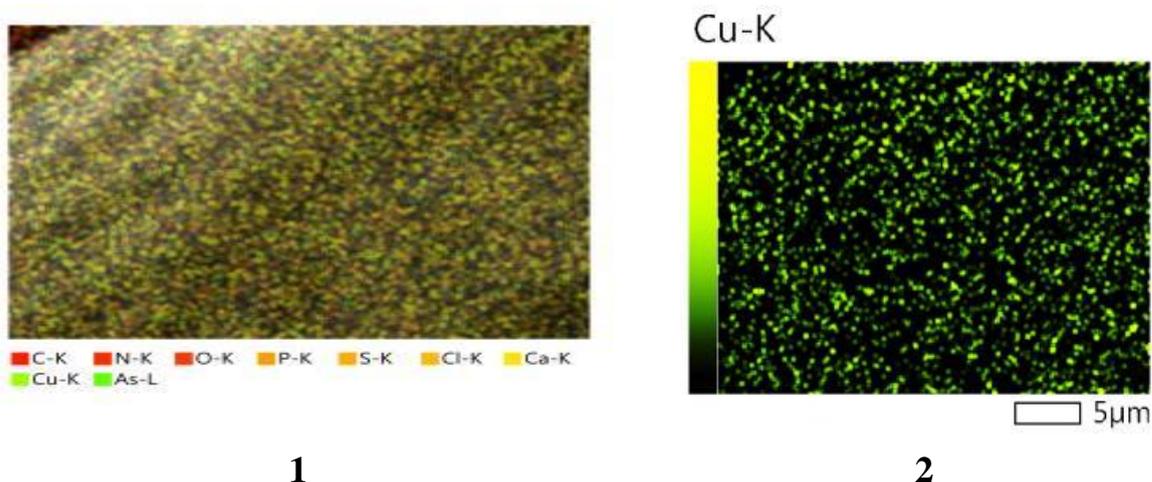


Рис. 15. ИК-спектр комплекса, образованного с ионом Zn(II) для сорбента ППФ-1 с иммобилизованным АКС.

На рисунке 15 новая полоса поглощения в ИК-спектре в области  $598\text{ см}^{-1}$  указывает на образование связи  $-\text{O}-\text{Zn}$  в результате взаимодействия иммобилизованного АКС с ионами цинка и образования комплекса

Результаты данных сканирующей электронной микроскопии рентгенофлуоресцентного анализа комплексов  $\text{Cu}(\text{II})$  с иммобилизованным торонном представлены на рис. 16 и в таблице 6, результаты на рис. 15 и в табл. 7.



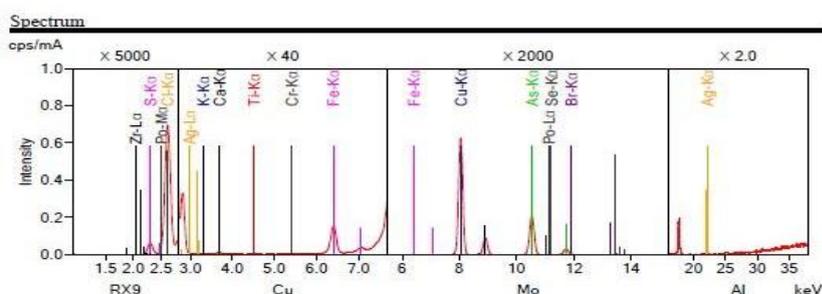
**Рис.16.** Микрофотографии распределения на поверхности сорбента различных элементов (1) и меди (2).

**Таблица 6**

**Результаты анализа сканирующей электронной микроскопии комплекса ионов  $\text{Cu}(\text{II})$  с иммобилизованным торонном I**

№	Образец	Состав, масс. % (n=3, P=0,95)							
		C	N	Cl	O	S	P	As	Cu
1	ППФ-1+ Cu(II)	40,05 ± 0,5	34,28± 0,2	2,03 ± 0,1	21,85 ± 0,2	-	0,02 ± 0,01	-	1,77 ± 0,01
2	ППФ-1+торон I	43,9 ± 0,2	30,9 ± 0,4	12,3 ± 0,1	12,3 ± 0,3	0,20 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,37 ± 0,06	-
3	ППФ-1 + торон I + Cu(II)	29,8 ± 0,2	12,9 ± 0,2	21,1 ± 0,1	19,5 ± 0,2	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,07 ± 0,04	15,85 ± 0,30

По результатам сканирующей электронной микроскопии, приведенных на рис. 17 и в табл. 6, можно увидеть, что медь распределена на волокне сорбента равномерно, что свидетельствует о том, что произошла хемосорбция, и количество меди в сорбенте составляет 15,85%.



**Рис.17.** Рентгенофлуоресцентный анализ комплекса ионов  $\text{Cu}(\text{II})$  с иммобилизованным торонном I на сорбенте ППФ-1

Таблица 7

**Результаты рентгенофлуоресцентного анализа сорбента ППФ-1, иммобилизованного торона I и его комплекса и ионами Cu(II)**

Анализируемый образец	Cl, масс. %	As, масс. %	S, масс. %	Cu, масс. %
ППФ-1+HCl	29,7	0,0007	0,144	0,0060
ППФ-1+R	15,2	1,18	3,55	0,00335
ППФ-1+R+Cu(II)	15,3	1,21	2,41	14,9000

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа образца сорбента ППФ-1 иммобилизованным торонам, определены элементы As и S, входящие в состав реагента, что свидетельствует о процессе иммобилизации. При изучении образца комплекса ионов Cu(II) с иммобилизованным торонам (рис. 17) можно увидеть пик высокой интенсивности, соответствующий ионам Cu(II), также обнаружено, что массовое содержание Cu(II) составляет 14,9 %. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа свидетельствуют и доказывают о правильности разработанного метода.

В шестой главе диссертации «Аналитическое применение гибридного сорбционно-спектроскопического метода определения меди, железа и цинка в анализе различных объектов» приведено влияние посторонних сопутствующих ионов на определение ионов Cu(II), Zn(II) и Fe (III) в искусственных смесях, разработанный метод применен в анализе образцов вод, почв и пищевых продуктов.

Таблица 8

**Результаты определения ионов Cu(II) иммобилизованным торонам I в искусственных смесях (P=0,95; n=5)**

Состав анализируемой смеси	Соотношение ионов	Введено Cu <sup>2+</sup> , мкг	Найдено Cu <sup>2+</sup> , мкг $\bar{X} \pm \Delta\bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Cu <sup>2+</sup> + Mn <sup>2+</sup>	1:20	20,0	19,84±0,26	0,230	0,012
Cu <sup>2+</sup> + Ni <sup>2+</sup>	1:20		19,78±0,31	0,268	0,014
Cu <sup>2+</sup> + Co <sup>2+</sup> + Ni <sup>2+</sup>	1:50:20		19,70±0,36	0,316	0,016
Cu <sup>2+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:50:50		19,68±0,38	0,335	0,017
Cu <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + Co <sup>2+</sup> + Mn <sup>2+</sup> + Ni <sup>2+</sup>	1:300:300:300:50:50:20:20:20		19,68±0,38	0,335	0,017

Таблица 9

**Результаты определения ионов Zn(II) иммобилизованной АКС в искусственных смесях (P=0,95; n=5)**

Состав анализируемой смеси	Соотношение ионов	Введено Zn <sup>2+</sup> , мкг	Найдено Zn <sup>2+</sup> , мкг $\bar{X} \pm \Delta\bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Zn <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup>	1:50		19.82±0.28	0,245	0,013
Zn <sup>2+</sup> + K <sup>+</sup>	1:50		19.76±0.29	0,272	0,014
Zn <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	1:50:50	20	19.72±0.35	0,306	0,015
Zn <sup>2+</sup> + Ba <sup>2+</sup> + Ca <sup>2+</sup>	1:50:50		19,68±0,35	0,338	0,017
n <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + Ba <sup>2+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + Cu <sup>2+</sup>	1:100:100:100:50:50:100		19.65±0,40	0,341	0.017

**Таблица 10**

**Результаты определения ионов Fe(III) иммобилизованной ССК в искусственных смесях (P=0,95; n=5)**

Состав анализируемой смеси	Соотношение ионов	Введено Fe <sup>3+</sup> , мкг	Найдено Fe <sup>3+</sup> , мкг $\bar{x} \pm \Delta x$	S	S <sub>r</sub>
Fe <sup>3+</sup> + Na <sup>+</sup>	1:50	20	19.50 ± 0.91	0.791	0,041
Fe <sup>3+</sup> + K <sup>+</sup>	1:50		19.48 ± 0.67	0.581	0.03
Fe <sup>3+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:50		19.32 ± 0.74	0.642	0.033
Fe <sup>3+</sup> + Ba <sup>2+</sup>	1:50		19.28 ± 0.88	0.769	0.04
Fe <sup>3+</sup> + Pb <sup>2+</sup>	1:50		19.18 ± 0.67	0.581	0.03
Fe <sup>3+</sup> + Ca <sup>2+</sup>	1:50		19.2 ± 0.72	0.628	0.033
Fe <sup>3+</sup> + Cu <sup>2+</sup>	1:50		19.1 ± 0.61	0.534	0.028
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup> + Cu <sup>2+</sup>	1:50:50		19.24 ± 0.58	0.508	0.026
Fe <sup>3+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:100:100		19.02 ± 0.46	0.396	0.021
Fe <sup>3+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + Cu <sup>2+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1:100:100:100:100:50:50		19.58 ± 0.83	0.719	0.037

**Таблица 11**

**Результаты определения ионов Fe(III) иммобилизованным ферроном в искусственных смесях (P=0,95; n=5)**

Состав анализируемой смеси	Соотношение ионов	Введено Fe <sup>3+</sup> , мкг	Найдено Fe <sup>3+</sup> , мкг $\bar{X} \pm \Delta \bar{X}$	S	S <sub>r</sub>
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1:100	20,0	19,85±0,25	0,218	0,011
Fe <sup>3+</sup> + Zn <sup>2+</sup>	1:100		19,82±0,28	0,248	0,012
Fe <sup>3+</sup> + Al <sup>3+</sup> + Zn <sup>2+</sup>	1:100:100		19,80±0,27	0,236	0,012
Fe <sup>3+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1:100:100		19,78±0,31	0,269	0,014
Fe <sup>3+</sup> + Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + Cu <sup>2+</sup> + Zn <sup>2+</sup>	1:100:100:100:100:50:50		19,72±0,38	0,333	0,017

Проведено определение ионов Cu(II) и Fe(III) разработанным методом в составе бинарных, тройных и более сложных модельных смесях, промышленных сточных и технических водах (8-11).

Как видно из табл. 8 и 11 при определении ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) разработанным сорбционно-атомно-абсорбционным методом в бинарных, тройных и более сложных модельных смесях относительное стандартное отклонение не превышает 0,037, что указывает на правильность и воспроизводимость метода.

В этой же главе диссертации «**Валидация и верификация разработанного сорбционно- атомно-абсорбционного метода определения меди, цинка и железа иммобилизованными реагентами**» приведены точность и воспроизводимость разработанного сорбционно-спектроскопического метода определения ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) иммобилизованными реагентами торон I, АКС, феррон и ССК на сорбенте ППФ-1 оценивали методом «введено-найденно». Для анализа были выбраны образцы промышленных, сточных и техногенных вод Навоийской и

Тошкенской области, а также питьевых вод и вод из скважины (табл. 12.).

**Таблица 12**

**Сорбционно-атомно-абсорбционное определение ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) в различных по природе водах (P=0,95, n=3)**

Определяемый ион металла	Иммобилизованный реагент	Образец	Введено, мкг/л	Найдено, мкг/л	S	S <sub>r</sub>
Cu(II)	Торон I	Техногенные воды	0	3,31±0,02	0,010	0,003
			10,0	13,2±0,1	0,152	0,011
			20,0	23,14±0,1	0,055	0,002
		Сточные воды	0	1,3±0,02	0,010	0,008
			10,0	11,45 ± 0,09	0,050	0,004
			20,0	21,12 ± 0,03	0,015	0,001
		Промышленные воды	0	2,4±0,02	0,010	0,004
			10,0	12,1 ± 0,18	0,100	0,008
			20,0	22,78 ± 0,14	0,076	0,003
Fe(III)	ССК	Водопроводная вода	0	0,25±0,01	0,006	0,023
			10,0	10,2±0,02	0,010	0,001
			20,0	20,31±0,03	0,015	0,001
		Вода из скважины	0	1,12±0,03	0,015	0,014
			10,0	11,2 ± 0,18	0,100	0,009
			20,0	21,12 ± 0,23	0,126	0,006
		Промышленные сточные воды	0	1,32±0,05	0,029	0,022
			10,0	11,4 ± 0,18	0,100	0,009
			20,0	22,11 ± 0,04	0,023	0,001
Zn(II)	АКС	Сточные воды	0	2,1 ± 0,1	0,126	0,014
			10,0	12,2 ± 0,2	0,126	0,010
			20,0	20,2 ± 0,3	0,185	0,009
		Промышленная вода	0	4,4 ± 0,3	0,145	0,033
			10,0	14,43 ± 0,4	0,225	0,016
			20,0	24,3 ± 0,3	0,173	0,007
		Техногенные воды	0	5,6 ± 0,3	0,14	0,025
			10,0	15,4 ± 0,6	0,351	0,023
			20,0	25,6 ± 0,6	0,321	0,013

Из таблицы видно, что применение метода «введено-найденно» подтверждает точность и воспроизводимость разработанного метода. При этом относительное стандартное отклонение разработанного метода не превышает 0,033.

**Таблица 13**

**Оценка сравнительная результатов определения ионов меди(II) в техногенных водах методами сорбционно-атомно-абсорбционной спектроскопии (СААС) и инверсионной вольтамперометрии (ИВ) (n=12, f1= 11, P = 0,95)**

Объект анализа	Метод СААС		Метод ИВ	
	Образец $\bar{x}$ , мкг/л	S <sub>r</sub>	Образец $\bar{x}$ , мкг/л	S <sub>r</sub>
Сорбент(ППФ-1)+R+Cu (II)	3,75	0,0151	3,71	0,0171
t-критерий	T <sub>эксп</sub> = 1,45; t <sub>табл</sub> = 2,83		t <sub>эксп</sub> < t <sub>табл</sub>	
F-критерий	F <sub>эксп</sub> = 1,31; F <sub>табл</sub> = 4,47		F <sub>эксп</sub> < F <sub>табл</sub>	

Разработанный метод сравнивался с методами ГОСТ 54276-2010, ГОСТ 4011-72, инверсионной вольтампериметрии и спектрофотометрии. Оценку сходимости результатов параллельных определений для каждого образца проводили расчетом двух независимых методов – критериев Стьюдента и Фишера (табл. 12-13).

**Таблица 14**

**Оценка конкурентоспособности метода сорбционно-атомно-абсорбционного определения (СААС) ионов железа(III) в техногенных водах методом спектрофотометрии (СФ) (n=12, f1 = 11, P = 0,95)**

Объект анализа	Метод СААС		Метод СФ	
	Образец $\bar{x}$ , мкг/л	S <sub>r</sub>	Образец $\bar{x}$ , мкг/л	S <sub>r</sub>
Сорбент(ППФ-1)+R+Fe(III)	0,41	0,011	0,40	0,012
t-критерий	t <sub>эксп</sub> = 1,09; t <sub>табл</sub> = 2,83		t <sub>эксп</sub> < t <sub>табл</sub>	
F-критерий	F <sub>эксп</sub> = 2,52; F <sub>табл</sub> = 4,47		F <sub>эксп</sub> < F <sub>табл</sub>	

Сопоставление результатов анализов по критериям Фишера и Стьюдента показало, что рассчитанные значения F- и t- критериев не превышают табличных значений. Это указывает на отсутствие значимых расхождений между результатами методов и отсутствии систематической ошибки.

**Таблица 15**

**Оценка конкурентоспособности сорбционно-атомно-абсорбционного метода определения ионов Cu(II) и Fe(III) методами ГОСТ**

№	Определяемые параметры	Cu <sup>2+</sup>		Fe <sup>3+</sup>		Zn <sup>2+</sup>	
		Разработанный метод	ГОСТ 54276-2010 (ААС)	Разработанный метод	ГОСТ 4011-72 (фото-метрия)	Разработанный метод	PND F (14.1:2.2 14-06) (ААС)
1	Среда, pH	5-5,5	-	2-2,5		5-6	1
2	Предел обнаружения	1 мкг/л	0,05 мг/л	5 мкг/л	0,1 мг/л	3 мкг/л	10 мкг/л
3	Применяемый реагент	Торон I	-	Сульфосалициловая кислота	Сульфосалициловая кислота	АКС	-
4	S <sub>r</sub>	0,023	0,05-0,10	0,02	0,05-0,15	0,03	0,08

Полученные данные показывают, что разработанные сорбционно-атомно-абсорбционные методы определения ионов меди(II), цинка (II) и железа(III) можно применить к анализу различных в промышленных сточных и технологических вод.

### **ВЫВОДЫ**

1. Для определения ионов меди(II), цинка и железа(III) предложены селективные органические реагенты торон I, АКС и сульфосалициловая кислота, а также ионообменный сорбент ППФ-1. Рекомендована их иммобилизация на полимерных носителях в кислой среде с сохранением аналитических характеристик.

2. Подобраны оптимальные условия комплексообразования иммобилизованных реагентов торон I, ализаринового красного С, феррона и

сульфосалициловой кислоты (ССК) ионами меди(II) в соотношении 1:1, с железом(III) в соотношении 1:1 и с цинком(II) в соотношении 1:1 соответственно. Равномерное распределение ионов металлов на поверхности сорбента и увеличение статической обменной ёмкости сорбента в 10 раз доказываются за счет химической сорбции современными спектральными методами.

3. Оптимальные условия определения ионов Cu(II), Zn(II) и Fe(III) методом атомной абсорбции следующие: ширина щели монохроматора 0,7, 0,7, 0,2 нм, пустотный катодный ток 8, 10, 12 мА, для атомизации используется горючая смесь — окисляющий воздух-ацетилен. Метод рекомендован для определения ионов меди до 1 мкг/л, цинка до 6 мкг/л и железа до 5 мкг/л в разных объектах окружающей среды.

4. Чувствительность иммобилизованных реагентов при определении исследуемых ионов металлов была увеличена за счет иммобилизации. Согласно методу Толмачова, реальные молярные коэффициенты поглощения составляют: для Cu(II) с торонам I  $\epsilon_{ист}=23150$ , для иона Zn с AQS  $\epsilon_{ист}=47619$  и для иона Fe(III) с сульфосалициловой кислотой  $\epsilon_{haq}=21740$ . Константы устойчивости комплексов составляют: для Cu(II)  $\beta_{уст}=5,95 \cdot 10^{11}$ , для Fe(III)  $\beta_{уст}=2,48 \cdot 10^{10}$  и для Zn(II)  $\beta_{уст}=8,1 \cdot 10^{15}$ , что подтверждает увеличение стабильности в 100 раз по сравнению с раствором.

5. В твёрдой фазе для комплексных соединений ионов меди(II), железа(III) и цинка с выбранными иммобилизованными органическими реагентами максимумы поглощения батохромно сдвинуты по сравнению с раствором  $\Delta\lambda_{FeL}=20$  нм,  $\Delta\lambda_{ZnL}=13$  нм и  $\Delta\lambda_{CuL}=10$  нм, что свидетельствует о снижении электростатических сил притяжения. Константы устойчивости этих комплексов соответствуют закономерности уменьшения радиуса иона металла:  $Fe^{3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+}$ .

6. При использовании иммобилизованных органических реагентов для отделения и концентрирования ионов Cu(II), Zn и Fe(III) методом сорбционно-атомно-абсорбционного анализа была достигнута чувствительность и избирательность, увеличенная в 100 раз. Результаты были подтверждены валидацией, а значения F- и t-критериев не превышали теоретические значения систематической погрешности. Разработанный метод был рекомендован как конкурентоспособный с методами ГОСТ 54276-2010, ГОСТ 4011-72, инверсионной вольтамперометрией и спектрофотометрией.

7. Разработанный гибридный сорбционно-спектроскопический метод был применен для анализа различных сточных вод и искусственных смесей, содержащих ионы Cu(II), Zn и Fe(III). Метод сорбционно-атомно-абсорбционного анализа с использованием иммобилизованных органических реагентов торона I, АКС, феррона и сульфосалициловой кислоты был протестирован в аналитических лабораториях ОАО «Электрохимия», ОАО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» и ОАО «Навоийский горно-металлургический комбинат». Метод рекомендован для применения при анализе вод, содержащих ионы Cu(II), Zn и Fe(III).

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/30.12.2019.K.01.03 AT THE  
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

---

**NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

**RUZMETOV UCHKUN URUNBOYEVICH**

**DEVELOPMENT AND VALIDATION OF HYBRID SORPTION-  
SPECTROSCOPIC METHODS FOR DETERMINATION OF Fe(III),  
Cu(II), AND Zn(II) IONS IN ENVIRONMENTAL OBJECTS**

**02.00.02 - Analytical chemistry  
(chemical sciences)**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR  
SCIENCE (DSc) ON CHEMICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2025**

The title of the doctoral dissertation(DSc) has been registered by the Supreme attestation commission at the Ministry of the Higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2023.2.DSc/K157.

The doctoral dissertation was carried out at the National University of Uzbekistan.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available online [www.ik-kimyo.nuuz.uz](http://www.ik-kimyo.nuuz.uz) and on the website of “ZiyoNet” information-educational portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

<b>Scientific supervisor:</b>	<b>Smanova Zulaykho Asanaliyevna</b> Doctor of chemical sciences, professor
<b>Official opponents:</b>	Sultonov Marat Mirzaevich Doctor of chemical sciences, professor <b>Usmonova Khilola Umatalievna,</b> Doctor of chemical sciences, professor <b>Abdurakhmonov Ilhom,</b> Doctor of chemical sciences, professor
<b>Leading organization:</b>	<b>Institute of the general and inorganic chemistry</b>

The defense of the dissertation will take place on « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 in « \_\_\_\_\_ » at the meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.K.01.03 at the National University of Uzbekistan (Address: 100174, Tashkent, Universitetical street, 4. Phone: (+99871) 227-12-24, Fax: (+99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: [ilmiy\\_kengash@nuu.ru](mailto:ilmiy_kengash@nuu.ru)).

The dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of National University of Uzbekistan under № \_\_\_\_\_ (Address: 100174, University street, 4. Tashkent, Administrative Building of the National University of Uzbekistan, tel.: (+99871) 246-67-71).

The abstract of the dissertation has been distributed on « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 year

Protocol at the register № \_\_\_\_\_ dated « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 year

**Sh.Sh.Daminova**  
Deputy Chairman of the Scientific Council for  
awarding academic degrees, Doctor of chemical  
sciences, professor  
**N.H. Kutlimurotova**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
awarding academic degrees, Doctor of chemical  
sciences, professor  
**B.Babaev**  
Chairman of the Scientific Seminar under  
Scientific Council for awarding the scientific  
degrees, Doctor of chemical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of doctoral (DSc) dissertation)

**The aim of the research work** development of rapid, selective, and hybrid sorption-spectroscopic methods for the determination of copper(II), iron(III), and zinc(II) ions in environmental samples using immobilized organic reagents.

**The objects of the research work** improvement of the sorption-spectroscopic method for the analysis of various environmental objects, as well as natural and wastewater containing heavy metal ions, standard samples, and food products.

**The scientific novelty of the research work** has concluded in follows:

Immobilization of organic reagents on carriers, such as Thoron I, sulfosalicylic acid, Ferron, and Alizarin Red S, through analytically active groups in a mildly acidic medium, which enhances sensitivity by 100 times due to the concentration process.

Selection of optimal conditions for complex formation and immobilization of organic reagents (Thoron I, sulfosalicylic acid, Ferron, and Alizarin Red S) on the PPF-1 carrier with copper(II), iron(III), and zinc(II) ions in universal buffer mixtures (Britton-Robinson) at optimized pH values;

In the atomic absorption determination of Cu(II), Zn, and Fe(III) ions with monochromator slit widths of 0.7 nm and 0.2 nm, acetylene-air was used as the fuel for flame atomization, and the resonance wavelength was set at 324 nm. It was established that the Beer-Lambert law was observed within the concentration range of 1-5 µg/L, with the detection times for metal ions being 7, 8, and 9 minutes at wavelengths of 0.8 nm, 243.8 nm, and 213.9 nm, respectively;

The complex formation between copper(II), iron(III), and zinc(II) ions with Thoron I, sulfosalicylic acid, Ferron, and Alizarin Red S immobilized on a solid phase occurs similarly to that in solution, due to the functionally active carboxyl, hydroxyl, and diazo groups. It was established that the stability of the complexes increases by 100 times compared to solution. The stability constants were found to be:  $\beta_{\text{CuThoron(solid phase)}} = 5.95 \times 10^{11} > \beta_{\text{CuThoron(solution)}} = 2.13 \times 10^9$ ,  $\beta_{\text{FeSSA(solid phase)}} = 2.48 \times 10^{10} > \beta_{\text{FeSSA(solution)}} = 3.85 \times 10^8$ , and  $\beta_{\text{ZnARS(solid phase)}} = 8.15 \times 10^{15} > \beta_{\text{ZnARS(solution)}} = 1.042 \times 10^{13}$ . This trend correlates with the decreasing ionic radii of the metal ions:  $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ ;

Bathochromic shifts in the absorption maxima of complexes of copper(II), iron(III), and zinc(II) ions formed with selected immobilized organic reagents were observed:  $\Delta\lambda_{\text{FeL}} = 20$  nm,  $\Delta\lambda_{\text{ZnL}} = 13$  nm, and  $\Delta\lambda_{\text{CuL}} = 10$  nm compared to the aqueous medium. This confirms that organic reagents immobilized on polymer carriers in the solid phase are more stable than in solution, due to the absence of reduced electrostatic attraction forces;

The developed method established the lower detection limits for copper, iron, and zinc ions: 1 µg/L for copper, 6 µg/L for zinc, and 5 µg/L for iron. When applied to the analysis of artificial mixtures and real environmental samples, it was demonstrated that the relative standard deviation does not exceed 0.023;

The developed method for determining copper, iron, and zinc ions, applied to the analysis of water and food products, was compared with other GOST methods

and validated. The linearity of the results and the absence of systematic errors were confirmed using the Student's and Fisher's criteria.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, seven chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total length of the dissertation is 200 pages.

**E'OLON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; part I)**

1. Ruzmetov, U., Mukhammadiyeva, M., Orzikulov, B., Matekeyeva, A., Akhmadjanov, O., Smanova, Z., & Bekchanov, D. (2025). Determination of Zinc Complexation with an Immobilized Reagent for the Analysis of Environmental Objects. *Talanta*, 127526. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.127526>. (Scopus – Q1).
2. Ruzmetov U. U., Jumayeva E. Sh., & Smanova Z. A. Adsorption–Atomic-Absorption Determination of Cu(II) Ions in Technogenic Waters. *Journal of Analytical Chemistry*, 2024, Vol. 79, No. 5, P.578–584. DOI: [www.doi.org/10.1134/S1061934824050095](http://www.doi.org/10.1134/S1061934824050095) (Scopus – Q3).
3. Рузметов У.У., Жумаева Э.Ш., Орзикулов Б.Т., Сманова З.А. Сорбционно-атомно-абсорбционное определение железа в водах. «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», 2023, Т. 89. № 12. С. 22-30. DOI: [doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-12-22-30](http://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-12-22-30) (Scopus – Q4).
4. Рузметов У.У., Каршибойева М.И., Мухаммадийева М.Ж., Усмоналиев Ж.И., Сманова З.А. Ализарин красный С – аналитический реагент для сорбционно-спектроскопического определения иона Zn(II). *Узбек. хим. журн.* 2024, № 3, С.91-96. (02.00.00., № 6)
5. Рузметов У.У., Сманова З.А. Сорбционно-атомно-абсорбционное определение ионов некоторых тяжелых металлов с помощью иммобилизованных специфических реагентов. *Журнал Доклады Академии наук.* 2024, № 4, С.76-80. (02.00.00., № 8)
6. Рузметов У.У., Усмоналиев Ж.И., Сманова З.А. Проведение библиоерического анализа по очистке тяжелых металлов водных средах с использованием прграммы Vos-Viewer. *Узбек. хим. журн.* 2024, № 4, С.98-104 (02.00.00., № 6).
7. Jumayev E., Ro'zmetov U., Smanova Z. Cu(II) ionlarini gibrid sorbsion-atom-absorbsion usulda aniqlash. *O'zbekiston Milliy Universiteti xabarлари*, 2023. № 3/2/1. В. 391-394. (02.00.00., № 12)
8. Жумаева Э.Ш., Рузметов У.У., Сманова З.А. Изучение современных методов определения тяжелых металлов в сточных водах с предварительным концентрированием. *Вестник НУУз*, 2022, № 3/2/1, С.360-363. (02.00.00., № 12)
9. Жумаева Э.Ш., Рузметов У.У., Сманова З.А. Методы определения тяжелых металлов в воде и токсическое влияние тяжелых металлов на жизнедеятельность организма. *Науч.вестн.ФерГУ.* 2023, №3, С. 341-349. (02.00.00., № 17)
10. Рузметов У.У., Усмоналиев Ж.И., Исследование некоторых техногенных отходов горно-металлургических комбинатов в Узбекистане. *Вестник НУУз.* 2023, №3/1, С. 407-410. (02.00.00., № 12)

11. Мадатов У.А., Махмадолиев С.Б., Турамбетова А.К., Рузметов У.Ў., Сманова З.А. Нитрозофенолни аналитик реагент сифатида қўлланилиши ЎзМУ хабарлари, 2020, № 3/2, В.396-398. (02.00.00., № 12)

## II bo'lim (II часть; part II)

12. Ruzmetov U., Rahmanov O., Turakulov A., Yakshimuratova Kh. Determination of the content of triphenylmethane dyes by thin-layer chromatography. AIP Conference Proceedings 2432, (2022), P.050057(1-5). DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0089550> (Scopus).
13. Жумаева Э.Ш., Сманова З.А., Рузметов У.У. Разработка методики определения цинка и меди в сточных водах иммобилизованными органическими реагентами. Актуальные проблемы химии комплексных соединений и аналитической химии. Сбор. матер. науч.-прак. Респ. конф. Термиз, 2022., С. 193-194.
14. Жумаева Э.Ш., Рузметов У.У., Сманова З.А. Определение ионов меди, цинка и железа с иммобилизованными органическими реагентами. Energy-Earth-Environment-Engineering, Uzb.-Japan intern. conf. Tashkent, 2022, p.94.
15. Жумаева Э.Ш., Рузметов У.У., Сманова З.А. Сорбционно-спектроскопическое определение железа иммобилизованными органическими реагентами. Современные проблемы химии координационных соединений. Международная науч.-прак. конф. Бухара, 2022, С. 236-237.
16. Жумаева Э.Ш., Ражабова К.К., Рузметов У.У., Сманова З.А. Сорбционно-атомно-абсорбционное определение ионов Cu (II). Современные тенденции развития химии и химической технологии в регионе Аральского моря. Сбор. матер. науч.-прак. Респ. конф. Нукус, 2023, С. 187-188.
17. Жумаева Э.Ш., Рузметов У.У., Ражабова К.К., Сманова З.А., Холбоева М.Б., Хамидов Ш.А. Разработка гибридного сорбционно-атомно-абсорбционного метода определения иона Cu (II). Фундаментальные и практические аспекты функциональных полимеров: Сбор. матер. науч.-практ. междун.конф. Ташкент, 2023, С. 452-453.
18. Жумаева Э.Ш., Ахмаджанов О.Г., Эшмуминов К.А., Рузметов У.У., Сманова З.А. Разработка гибридного сорбционно-атомно-абсорбционного метода определения ионов Fe(III). Фараби Элеми.: Сбор.матер.науч.-практ.междун.конф. Алмата (Казахстан), 2023, С.279.
19. Jumayeva E.Sh, Ruzmetov U.U. Smanova Z.A. Sorption-atomic absorption determination of Cu (II) and Fe (III) ions by immobilized reagents Thoron I and sulfasalicylic acid. Актуальные вопросы и тенденции развития современной фармацевтической отрасли: Сбор.матер.науч.-практ.респ.конф. Ташкент, 2023, С.93-94.
20. Жумаева Э.Ш., Ражабова К.К., Рузметов У.У., Сманова З.А. Сорбционно-атомно-абсорбционное определение ионов Cu (II) и Fe(III) из сточных вод, с применением органических реагентов торон I и сульфосалициловая кислота. Актуальные проблемы аналитической химии: Сбор.матер.науч.-практ.респ.конф. Ташкент, 2023, С. 447.

21. Жумаева Э.Ш. Определение ионов Cu(II) и Fe(III) атомно-абсорбционной спектроскопией с предварительным концентрированием. Перспективы развития целлюлозы и её производных. Сбор.науч.труд.международ.науч.-техн.конф. Ташкент, 2023, С. 315-316.
22. Ж.И. Усмоналиев, Рузметов У.У. Исследование техногенных отходов золоторудного производства некоторых предприятий горно-рудных производств Узбекистана. Актуальные проблемы аналитической химии: Сбор.матер.науч.- практ.респ.конф. Ташкент, 2023, С.450
23. Ro'zmetov U.O', Taniyev O.U. Uchfenilmetan asosli bo'yoq hisoblangan kislotali fuksinning suv va spirdagi eritmalarining optik xossalarini muhitga bog'liqligini o'rganish. Аналитик кимёнинг долзарб муаммолари: илм.-амал.анжум.матер.тўпл. Ташкент, 2023., С.453.
24. M.J. Muxammadiyeva, Qarshiboyeva M.I, Matekeyeva A.P., Ro'zmetov U. O'. Rux ionini Sorbsion-spektroskopik aniqlash usulini ishlab chiqsh. "Abu Ali Ibn Sino and Innovations in modern Pharmaceutics": ilm.-amal.anjum.mater.to'pl.Tashkent, 2024, 18-mart, B.138
25. A.P. Matekeyeva, M.J. Muxammadiyeva, M.I Qarshiboyeva, Ro'zmetov U.O'. Creating a method for Sorption-spectroscopic determination of Zinc(II). Фараби Элеми.: Сборн. междун. конф. Алмата (Казахстан), 2024, 4-6-Апреля, С.279.
26. O.G. Axmadjonov, Э.Ш. Жумаева, Рузметов У.У. Разработка сорбционно-атомно-абсорбционного метода определения ионов Fe(III) в сточных водах. Фараби Элеми.: Сбор.матер.науч.- практ.междун.конф. Алмата (Казахстан), 2024, 4-6-Апреля, С.183.
27. M.I Qarshiboyeva, M.J. Muxammadiyeva, A.P. Matekeyeva, Ruzmetov U.U. Sorption-spectroscopic determination of Zinc ion using Alizarin red S reagent "Qlobal iqlim dəyişikliyi və Azərbaycanın müasir ekosistemi". Сбор.матер.науч.- практ.междун.конф. Баку, 2024, 16-17-май, С. 61-62.
28. A.P. Matekeyeva, M.J. Muxammadiyeva, M.I Qarshiboyeva. Determination of Zn(II) ions in water samples by the adsorption-atomic-absorption. "Kimyoning dolzarb muammolari", Рес.илм.-амал.анжум.матер.тўпл. Урганч, 2024, 21-22-июнь, Б. 113
29. Muxammadiyeva M.J., Qarshiboyeva M.I., Ro'zmetov U.O'. Atrof muhit obyektlaridan Zn(II) ionini sorbsion-spektroskopik aniqlash usulini ishlab chiqish. O'zMU Kimyo fakulteti "Barqaror rivojlanishda kimyo fanining roli" mavzusidagi professor-o'qituvchilar, yosh olimlar, magistrantlar va iqtidorli talabalar ishtirokidagi ilmiy-amaliy anjumani. Toshkent, 2024, 21-22 may. B.113.
30. Muxammadiyeva M.J., Qarshiboyeva M.I., Ro'zmetov U.O'. Atrof-muhit obyektlaridagi Zn(II) ionini sorbsion-spektroskopik aniqlashning yangi gibrud usulini ishlab chiqish. "Zamonaviy farmatsevtika sohasini rivojlanishining dolzarb masalalari va tendensiyalari" mavzusidagi II xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Toshkent, 2024, 17-18-oktabr. B. 143.
31. Muxammadiyeva M.J., Qarshiboyeva M.I., Ro'zmetov U.O'. Og'ir metall ionlarining konsentratsiyasi va aniqlanishi bo'yicha gibrud spektroskopik

tadqiqotlar. “Zamonaviy farmatsevtika sohasini rivojlanishining dolzarb masalalari va tendensiyalari” mavzusidagi II xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Toshkent, 2024, 17-18-oktabr. B. 145.