

**TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA ILMIY TADQIQOT INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

AHMADJONOV ULUG‘BEK G‘ULOM O‘G‘LI

**MAHALIY SANOAT CHIQINDILARI TARKIBIDAGI QO‘RG‘OSHIN VA
KADMIY IONLARINI INVERSION-VOLTAMPEROMETRIK ANIQLASH
USULLARINI ISHLAB CHIQISH**

11.00.05 - Atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent - 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Ahmadjonov Ulug‘bek G‘ulom o‘g‘li

Mahaliy sanoat chiqindilari tarkibidagi qurgoshin va kadmiy ionlarini inversion-voltamperometrik aniqlash usullarini ishlab chiqish..... 3

Ахмаджонов Улугбек Гулом угли

Разработка методов инверсионно-вольтамперометрического определения ионов свинца и кадмия в отходах отечественной промышленности..... 21

Ahmadjonov Ulugbek Gulom ogli

Development of methods for the inversion-voltammetric determination of lead and cadmium ions in domestic industrial waste 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works 42

**TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA ILMIY TADQIQOT INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

AHMADJONOV ULUG‘BEK G‘ULOM O‘G‘LI

**MAHALIY SANOAT CHIQINDILARI TARKIBIDAGI QO‘RG‘OSHIN VA
KADMIY IONLARINI INVERSION-VOLTAMPEROMETRIK ANIQLASH
USULLARINI ISHLAB CHIQISH**

11.00.05 - Atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent - 2025

Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiya mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya komissiyasida B2024.2.PhD/K813-raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent kimyo-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.tktiti.uz) va »Ziyonet« Axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Nabiyev Abduraxim Abduxamidovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Kucharov Baxrom Xayriyevich
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Fayziyev Jaxongir Baxromovich,
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, katta ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

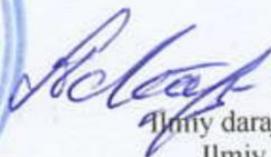
Termiz davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot instituti xuzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 raqamli ilmiy kengashning "15" X II 2025 yil soat "09:00" dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 111116 Toshkent tumani, Ibrat MFY., Shurobozor. Tel.: (+99895) 144-67-83 E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin. (№_2025/40_raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 111116, (Toshkent tumani, Ibrat MFY., Sho'robozor. Tel.: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "3" X II kuni tarqatildi.
(2025 yil "01_" dekabrda 2025/40_raqamli reestr bayonnomasi)




Djalilov A.T.
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi,
k.f.d., prof., akademik


Qiyomov Sh.N.
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash kotibi,
t.f.d., k.i.x.


Beknazarov X.S.
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi, t.f.d., prof

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda, so‘nggi yillarda sanoatning barcha yo‘nalishlarida intensiv rivojlanish va zamonaviy texnogen jarayonlarning amaliyotga keng joriy etilishi natijasida atrof - muhitga antropogen omillar orqali bo‘layotgan salbiy ta‘sir kuchayib bormoqda. Shu sababli, tabiiy yer usti suvlari sifatini ekologik tahlili doirasida og‘ir metall ionlarini aniqlash hamda atrof - muhit obyektlaridan selektiv ravishda ajratish imkonini beruvchi yuqori sezgirlikka ega, qayta takrorlanuvchan zamonaviy usullarni ishlab chiqishga katta e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda og‘ir va zaharli metallarni aniqlash va ajratish uchun ultramikro miqdorlarini tahlil qilish imkonini beradigan bir qator fizik va fizik - kimyoviy usullar yaratish ustida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada ekologik talablarga javob beradigan elektrokimyoviy analiz usullarini takomillashtirish, texnologik va metrologik parametrlarini yaxshilash, sifat va miqdoriy aniqlash tezkorligini oshirish, atrof muhit obyektlari tarkibidan og‘ir metall ionlarini aniqlash usullarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

Respublikamizda kimyo sanoati, xalq xo‘jaligida qo‘rg‘oshin va kadmiy kabi metallarning keng ishlatilishi sababli, ularni aniqlash uchun zamonaviy, yanada ishonchli, tezkor va tannarxi arzon bo‘lgan usullarni ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega. Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasida «suv zaxiralaridan oqilona va samarali foydalanish; ekologik talablarga javob bermaydigan maishiy chiqindi poligonlarining atrof-muhitga salbiy ta‘sirini kamaytirish; mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash, sifat jihatdan yangi mahsulot va texnologiya turlarini o‘zlashtirish»¹ vazifalari alohida belgilab berilgan. Bu borada, atrof-muhitni monitoring qilishda mahalliy xomashyolardan asosida olingan tolasimon tashuvchilarga immobillangan organik reagentlardan foydalanish, moddalarning sifatini va tozalik darajasini tizimli nazorat qilishni yanada takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi «2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi PF-60-sonli Farmoni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 30-oktyabrdagi «2030-yilgacha bo‘lgan davrda O‘zbekiston Respublikasi atrof-muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida»gi PF-5863-sonli Farmoni va O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 18-fevraldagi «Ekologik xavfsizlik to‘g‘risidagi umumiy texnik reglamentni tasdiqlash haqida» VM-95-son qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar

1 O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” farmoni

rivojlanishining VII. “Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Bugungi kunda qo‘rg‘oshin va kadmiy kabi zaharli ionlarini aniqlash usullari sohasida ko‘plab xorijiy olimlar Y.Zolotov, G.Moiseev, N.A. Gavrilenko, V.J.Lovelock, G.Thunberg, D.Attenborough, B Commoner, Respublikamizda esa A.M. Gevorgyan, H.F.Botirov, M.A. Nasimov, A. H. Hamzayev, X.L. Pulatov, R.X. Djiyanbayeva, B.D. Kabulov, Sh.A. Mutalov va boshqalar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan.

Ushbu tadqiqotlarda bir vaqtning o‘zida ham konsentrlash ham aniqlash mumkin bo‘lgan usullar taklif qilgan va inversion-voltamperometriya usulida yangi turdagi elektrodni takomillashtirish tavsiya etilgan, og‘ir metall ionlarini inversion-voltamperometrik aniqlashda turli xil modifikatorlar bilan modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlarni qo‘llash sohasini kengaytirish va texnologiyalarini takomillashtirish tavsiya etilgan.

Hozirda mahalliy xomashyolar asosida import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarishda samarali texnik vositalarni yaratish hamda amaliyotda qo‘llash, ekologik jihatdan xavfsiz bo‘lgan elektrokimyoviy sensorlar orqali bir vaqtning o‘zida og‘ir va zaharli metall ionlarini aniqlash va monitoringini o‘tkazish imkonini beruvchi zamonaviy usullarni yaratish va amaliyotda qo‘llash bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda.

Dissertatsiya mavzusi dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent kimyo texnologiya instituti hamda O‘zbekiston Milliy universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining PZ-20171024319 “Og‘ir va zaharli metall ionlarini aniqlashda elektrokimyoviy sensorlarni ishlab chiqish» (2018-2020) mavzusidagi fundamental va amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Mahalliy sanoat chiqindilari, suv va tuproq tarkibidagi qo‘rg‘oshin va kadmiy ionlarini modifikatsiyalangan elektrodlar yordamida inversion-voltamperometrik aniqlash usullarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Grafit asosidagi elektrodni modifikatsiyalash uchun Pb(II) va Cd ionlariga selektiv bo‘lgan organik reagent tanlash va sulforsazen va kadion bilan modifikatsiyalangan elektrodning xususiyatlarini hamda maqbul sharoitlarini (organik reagentlar miqdori va modifikatsiyalashda haroratning ta’sirini) aniqlash;

Pb(II) va Cd ionlarining sulforsazen va kadion reagentlari bilan kompleks hosil bo‘lish mexanizmini aniqlashda kvant-kimyoviy hisoblashlar olib borish, reagent va kompleks birikmaning electron, IQ-, rengen-fluorestsent va SEM spektrlarini tahlil qilgan holda reaksiya ximizmini ishlab chiqish;

modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar yordamida Pb(II) va Cd ionlarini inversion-voltamperometrik aniqlashda ishchi elektrod yuzasiga metall ionlarini yig‘ilish vaqti va potensiali, konsentratsiy va pH, bufer eritmalar tarkibi va fon elektrolitlarining ta’sirini ilmiy asoslash;

Pb(II) va Cd ionlarini aniqlashning yangi ishlab chiqilgan uslubini to'g'riligini korrelyatsiya koeffitsiyenti bilan ifodalash, uslubni individual eritmalar, turli xil tabiatli sun'iy aralashmalar, texnologik va chiqindi suvlar tahliliga qo'llash hamda begona halaqit beradigan ionlarning ta'sirini o'rganish;

Pb(II) va Cd ionlarini aniqlashning ishlab chiqilgan inversion-voltamperometriya uslubini boshqa zamonaviy betaraf usullar bilan analitik va metrologik parametrlarini taqqoslash.

Tadqiqotning obyekti sifatida qo'rg'oshin va kadmiy ionlari saqlagan sanoat chiqindilari va texnologik namunalari, suvlar, tuproqlar va shlamlar olingan.

Tadqiqotning predmeti qo'rg'oshin va kadmiy ionlari, turli xil organik reagentlar bilan modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar ishlab chiqish shuningdek tarkibida atrof-muhitni ifloslantiruvchi moddalar bo'lgan birikmalarni ekologik monitoringini o'tkazishdan iborat.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishida qo'rg'oshin va kadmiy ionlarni aniqlashning fizik-kimyoviy usullari sifatida inversion-voltamperometriya, polyarografiya, spektrofotometriya, infraqizil (IQ), rentgen-fluorescent va atom-absorbsion spektroskopiya, hamda kadion, sulfosarzen reagentlarining metall ionlari bilan kompleks hosil bo'lishida ishtirok etuvchi funksional guruhlarni aniqlash uchun kvant-kimyoviy hisoblash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

sulforsazen va kadion reagentlari bilan ko'mir pastali elektrod modifikatsiyalangan va kadmiy va qo'rg'oshin ionlarini inversion voltamperometrik aniqlash usuli ishlab chiqilgan;

ishchi yuzasining kengligi $0,2 \text{ sm}^2$, ishlash potentsiallar oralig'i - 1,8 V dan +1,5 V gacha bo'lgan modifikatsiyalangan grafit asosidagi elektrokimyoviy sensor olingan;

ishlab chiqilgan qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini aniqlashning inversion-voltamperometrik usulga tasir qiluvchi omillar va jarayonning optimal sharoitlari aniqlangan;

qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini aniqlash to'g'riligining korrelyatsiya koeffitsiyenti 1 ga yaqin bo'lgan, yuqori sezgirlikka ega yangi usul ishlab chiqilgan;

ishlab chiqilgan inversion-voltamperometrik usul asosida atrof-muhitni muhofaza qilishda turli xil tabiatli aralashmalar, texnologik va chiqindi suvlar tahliliga modifikatsiyalangan elektrodni qo'llash orqali ekologik monitoringini samarali amalga oshirish sharoitlari aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

sulforsazen va kadion bilan modifikatsiyalangan grafit asosidagi elektrokimyoviy sensorlar yordamida Pb(II) va Cd ionlarini selektiv va sezgir aniqlovchi inversion-voltamperometriya usuli ishlab chiqilgan va texnologik suvlar tarkibida Pb(II) ionini $0,4 \cdot 10^{-9} \text{ gr/dm}^3$ gacha, hamda Cd ionini $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ gr/dm}^3$ gacha aniqlangan;

ishlab chiqilgan inversion-voltamperometrik usul OTMK va Navoiy elektrokimyoviy zavodining texnologik chiqindi suvlari, tabiiy suvlari va loylarida

Pb(II) va Cd ionlarini tahlil va nazorat qilishda qo'llanilgan hamda Pb(II) va Cd ionlarini oqava suvlar tarkibidan inversion-voltamperometrik usulda aniqlashga Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} ionlar halaqit bermasligi isbotlangan;

ishlab chiqilgan inversion-voltamperometrik usul bilan ekologik muammolarni yechimida Pb(II) va Cd ionlari ruxsat etilgan chegaradan past miqdorgacha tuproq, tabiiy va oqova suvlar tarkibidan aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi olingan moddalarning struktura va xossalari fizik-kimyoviy tahlilning zamonaviy IQ-spektroskopiya, SEM, rengenofluoresent tadqiqot usullari yordamida aniqlanganligi, eksperimental va nazariy natijalarning o'zaro mosligi hamda «kiritildi-topildi» usullari, kvant-kimyoviy hisoblashlar, standart namunalar bilan taqqoslanganligi natijalarning ishlab chiqarish sharoitlarida tasdiqlanganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini aniqlashda modifikatsiyalangan elektrodni qo'llashning optimal sharoitlari aniqlangan va yangi usuli ishlab chiqilganligi, polimer tolaga immobillash natijasida yangi sorbsion sistemalar olinganligi, ushbu sistemalarda qo'rg'oshin (II) va kadmiy ionlarining immobillangan organik reagentlar bilan kompleks birikmalar hosil qilishining optimal sharoitlari, sorbsiya jarayonida hosil bo'ladigan metalloxelatlarining tuzilishi aniqlanganligi hamda inversion-voltamperometrik aniqlash usullari ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati chiqindi suvlardan qo'rg'oshin (II) va kadmiy ionlarini aniqlash hamda ajratishning inversion-voltamperometrik usullaridan foydalanish, zaharli metallarni aniqlash va ajratishning tezkor usullarini ishlab chiqish orqali atrof-muhit ifloslanishining oldini olish, ekologik iqlimni sog'lomlashtirish, ijtimoiy-iqtisodiy samaradorlikni oshirish, shuningdek, atrof-muhitning ifloslantiruvchi moddalari va potensial ekotoksikantlari sifatida toksik metallarni aniqlash va ajratish tezkorligini keskin oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarini joriy etilishi. Turli tabiatga ega sanoat chiqindilari tarkibidan qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini aniqlashning yangi sulforsazen va kadion bilan modifikatsiyalangan elektrodni qo'llash orqali inversion-voltamperometrik uslubini ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari asosida:

qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar yordamida inversion-voltamperometrik aniqlash usuli Olmaliq KMK ning «Markaziy ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi» da amaliyotga joriy qilingan («Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ ning 2024 yil 1-iyulgi 572-sonli ma'lumotnomasi). Natijada oqava suvlar tarkibidagi qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini aniqlash va monitoring qilish hamda ruxsat etilgan me'yorlarini nazorat qilish imkonini bergan.

qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini aniqlash uchun modifikatsiyalangan elektrod Olmaliq KMK ning «Markaziy ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi» da amaliyotga joriy qilingan («Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ ning 2024 yil 1-iyulgi 572-sonli ma'lumotnomasi). Natijada olingan modifikatsiyalangan elektrod texnik vosita

sifatida oqava suvlarda qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini tezkor aniqlash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining abpobatsiyasi. Tadqiqot natijalari asosida 6 ta shundan, 2 ta xalqaro va 4 ta Respublika ilmiy-anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarning e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 13 ta ilmiy ish chop etilgan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan nashrlarida 6 ta, jumladan 3 ta maqola Respublikada va 3 ta ilmiy maqola xalqaro jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya 116 betdan iborat bo'lib, kirish, to'rta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish qismida** tadqiqotning dolzarbligi va zarurligi asoslanadi, tadqiqotning maqsad va vazifalari, obyektlari va predmetlari bayon qilinadi, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning dolzarb yo'nalishlariga muvofiqligi ko'rsatiladi, ilmiy yangilik va amaliy natijalar tavsiflanadi, natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib beriladi, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi keltirilgan.

Dissertatsiyaning birinchi bobida «**Asosiy zaxarli metallarning xususiyatlari va ularning atrof muhitga ta'siri (adabiyotlar sharhi)**» og'ir va zaharli metallarni, jumladan qurgoshin va kadmiyni qo'llash sohalari, odam organizmiga metallarni toksik ta'siri va ularni aniqlash bo'yicha tanqidiy sharh berilgan. Adabiyotlarni ko'rib chiqishda turli xil spektroskopik, lyuminesstent, sorbsiyon, xromatografik tahlil usullari, shuningdek, ushbu metallarni aniqlash uchun DavSTning ba'zi usullarining analitik parametrlari va metrologik xususiyatlari keltirilgan. Ushbu metallarni tahlil qilishda muammolar, sezgirlikning etishmasligi va halaqt qiluvchi ionlarni niqoblamasdan aniqlash usullarining selektivligi ko'rsatilgan. Adabiyotda keltirilgan tadqiqotlarni tahlil qilish tadqiqotning maqsadi, vazifalari va obyektini tanlashga imkon berdi.

Dissertatsiyaning «**Inversion-voltampermetrik usulning tajriba texnikasi va qo'llaniladigan metodikalar**» nomli ikkinchi bobida qattiq elektrodni ishlab chiqarishda optimal sharoitlarni, grafit pastasi aralashmasining tarkibiy qismlarini va ularning nisbatlarini tanlashi keltirilgan.

Elektrokimyoviy sensorning komir pastali elektrod (KPE) selektivligini elektrodning modifikatsiyalash orqali ham oshirish mumkin. Buning uchun grafit kukuni, biriktiruvchi va kerakli modifikatorni aralashtirish natijasida olingan pasta metall (masalan, mis) sim yoki plastinkaning uchiga qo'llaniladi. Qattiqlashgandan so'ng, ushbu xamir sinov elektrolitlari bilan aloqa qilish uchun ishlatiladi. Modifikator tanlangan metal ionlari bilan selektiv reaksiyaga kirishadigan faol

modda yoki molekulalarini pasta yuzasiga samarali bog'laydigan kompleks bo'lishi mumkin.

Qattiq modifikatsiyalangan elektrodning xususiyatlari, birinchi navbatda, ko'mir pastasini tashkil etuvchi tarkibiy qismlarning nisbatiga bog'liq, shuning uchun avval grafit kukuni, mum va modifikatorning turli nisbatlaridan (massa bo'yicha) iborat aralashmalar tayyorlangan. Aralashmaning grafit miqdori oshishi bilan elektrodning elektr o'tkazuvchanligi oshishi aniqlandi, shuning uchun uglerod pastasi tarkibiy qismlarining optimal nisbatlariga erishish kerak edi.

Modifikatorning ko'mir pastasiga kiritilgan optimal miqdor olingan eksperimental ma'lumotlar asosida tanlandi. Optimallashtirilgan sharoitlarda 0,1-0,9 mg modifikatorni o'z ichiga olgan elektrodlar ishlab chiqariladi. Olingan ma'lumotlardan ma'lum bo'lishicha, pastadagi modifikatorning optimal miqdori 0,4-0,5 g darajasida, chunki ko'mir pastasi va mum aralashmasida uning miqdori oshishi bilan grafit kamayadi shunga ko'ra, butun tizimning (elektrodning) elektr o'tkazuvchanligi, shuningdek uning sezgirligi pasayadi, bu modifikatorning o'ziga xos elektr o'tkazuvchanligi yo'qligi bilan bog'liq va shuning uchun uning tarkibiga kiritish butun tizimning elektr o'tkazuvchanligini aniqlaydi. 1-Jadvalda har xil turdagi o'zgartirilgan komir pastali elektrod (KPE) yordamida olingan Pb va Cd voltamper natijalari berilgan. Jadval 1 dan ko'rinib turibdiki, maksimal analitik signallar qo'rg'oshin uchun sulforsazen organik reagentida va kadmiy uchun kadion bilan modifikatsiyalangan va ishlab chiqarilgan KPE yordamida olingan.

Fon elektrolitlari va bufer aralashmasining tabiati va konsentratsiyasining Pb va Cd ning inversion voltammetrik ta'rifiga o'rganilgan metallarning AS shakllanishiga ta'sir qiluvchi asosiy omillar hisoblanadi, shuning uchun optimal ish rejimini tanlash uchun qo'rg'oshin va kadmiyning turli xil kislota-asos xususiyatlarida elektrokimyoviy harakati o'rganilgan.

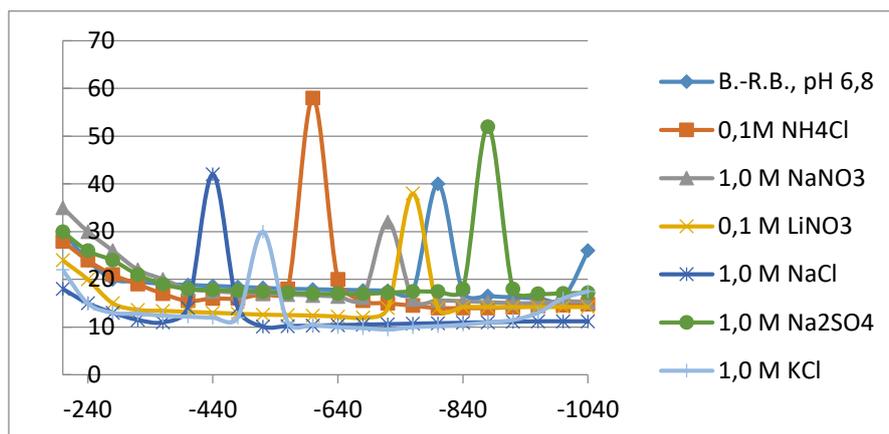
1-jadval

KPE ishlab chiqarishda turli xil modifikatorlarni taqqoslash natijalari
($\bar{x} \pm \Delta X$; P = 0,95)

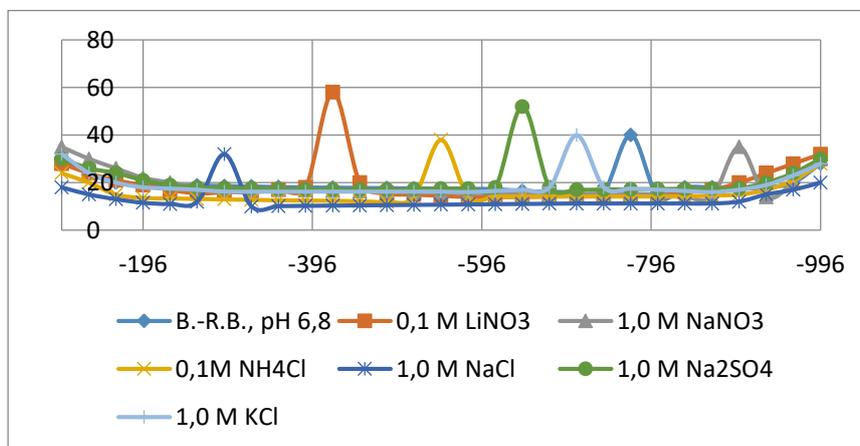
Kiritilgan ion, mg (analiz sharoitlari)	h, mm	Modifikator tabiati	Topildi, mg	n	S	S _r
Pb 5,0 mg/l (fon 0,1 M LiNO ₃ ; t.o. = 2,0 mkA; E _n = -0,42 V; T _n =80 s)	65	sulforsazen	4,9 ± 0,25	5	0,14	0,028
	30	8-oksihinolin	4,5 ± 0,31	5	0,25	0,055
	25		5,4 ± 0,23	5	0,19	0,035
	15	P	4,8 ± 0,26	5	0,21	0,043
	10	tiomochevina	3,9 ± 0,18	5	0,15	0,038
Cd 16,0 mg/l (fon 1,0M NH ₄ Cl; t.o. = 2,0 mkA; E _n = -0,6 V; T _n =100 s)	50	EDTA	15,9 ± 0,25	5	0,20	0,012
	55	Kupferon	15,1 ± 0,34	5	0,28	0,018
	-	P	-	-	-	-
	20	Kadion	16,4 ± 0,35	4	0,22	0,013
	25	Ditizon	15,3 ± 0,40	4	0,25	0,016

2-Jadval va 1-2 rasmlardagi ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, eng yaxshi natijalar fonda Cd - (1,0 M NH₄Cl), Pb - (0,1 M LiNO₃)ni aniqlashda kuzatiladi va shuning uchun barcha keyingi tadqiqotlar ushbu fon elektrolitlari va bufer aralashmalarida ularning optimal konsentratsiyasiga muvofiq amalga oshirildi.

Muhitni kislotaligi va asosligini qo'rg'oshin va kadmiyni inversion voltammetrik tasirini topish uchun turli xil tabiatdagi fon elektrolitlar va bufer aralashmalarida aniqlashda metallarni shakli va piklariga muhitni pHning tabiati va tasirlanish darajasi organilgan. Fon elektrolitining (bufer aralashmasi) maqbul va maksimal ruxsat etilgan konsentratsiyasi tanlandi, bunda aniqlangan metallning voltamperogrammasi (cho'qqisi) har jihatdan eng yaxshi shaklga ega edi.



1–rasm. Kadmiy ionini inversion-voltamperometrik aniqlashda fon elektrolit ta'siri



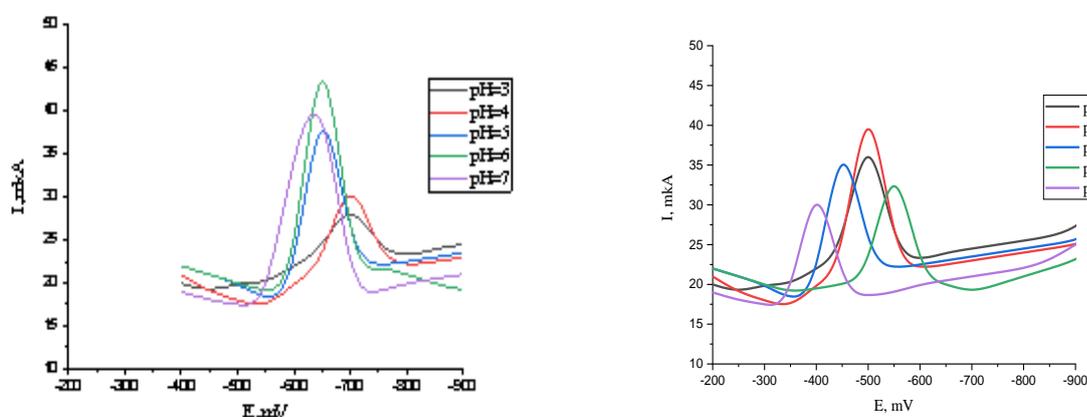
2–rasm. Qo'rg'oshin ionini inversion-voltamperometrik aniqlashda fon elektrolit ta'siri

Bunday maqbul va ruxsat fon elektroliti tabiati va maksimal konsentratsiyani topish uchun, o'rganilayotgan metall ionlarning turli xil fon elektrolitlari va bufer aralashmalari mavjudligida ularning konsentratsiyasi oshganda analitik signal orqali aniqlandi. Shu bilan birga, elektrokimyoviy reaksiyani nazorat qilish atrof-muhitning protonodonor faolligini butun elektroliz davomida qat'iy belgilangan chegaralarda saqlashni talab qiladi, bu erda fon elektrolitlari (bufer aralashmasi) dominant va hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Turli xil tabiatdagi fon elektrolitlarida qo'rg'oshin va kadmiyni inversion voltammetrik aniqlash natijalari

Fon tabiati va konsentratsiyasi	Cd		Pb	
	E_M, B	h, MM	E_M, B	h, MM
0,1 M H_3PO_4	—	—	—	—
B.-R.B., pH 6,8	-0,80	42	-0,77	40
B.-R.B., pH 5,5	—	—	-0,72	30
1,0 M KCl	-0,52	30	-0,70	40
1,0 M NaCl	-0,44	40	-0,29	35
0,1 M $LiNO_3$	-0,76	38	-0,42	58
1,0 M Na_2SO_4	-0,88	52	-0,640	52
1,0 M $NaNO_3$	-0,72	32	-0,90	32
1,0 M NH_4Cl	-0,60	59	-0,54	38

Rasm 3 dan xulosa qilishimiz mumkinki, kadmiyni IV aniqlashda optimal pH 6,0-6,5 va qo'rg'oshin uchun pH 5,5-6,0 topilgan.

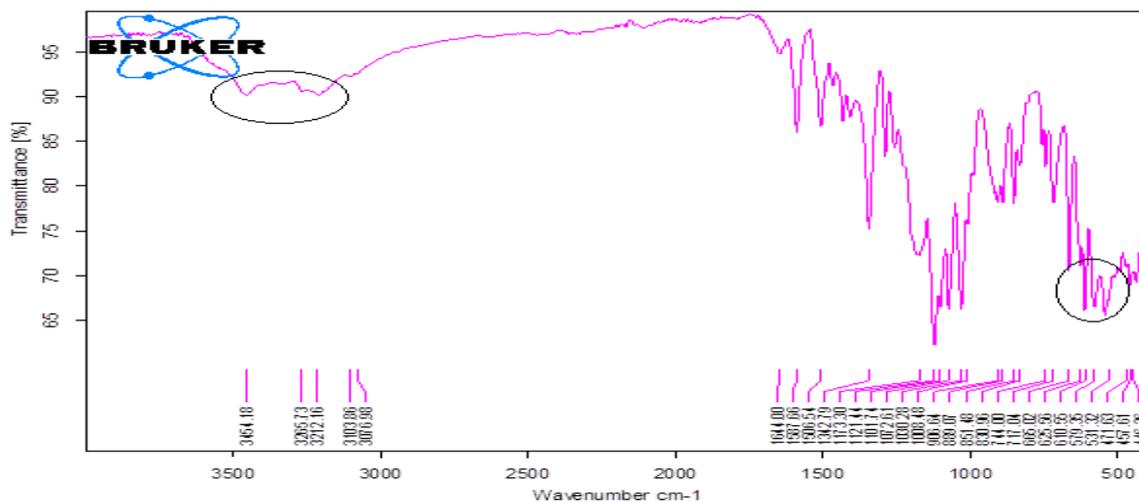


3-Rasm. Qo'rg'oshin va kadmiy AS tabiatining pH ga bog'liqligi

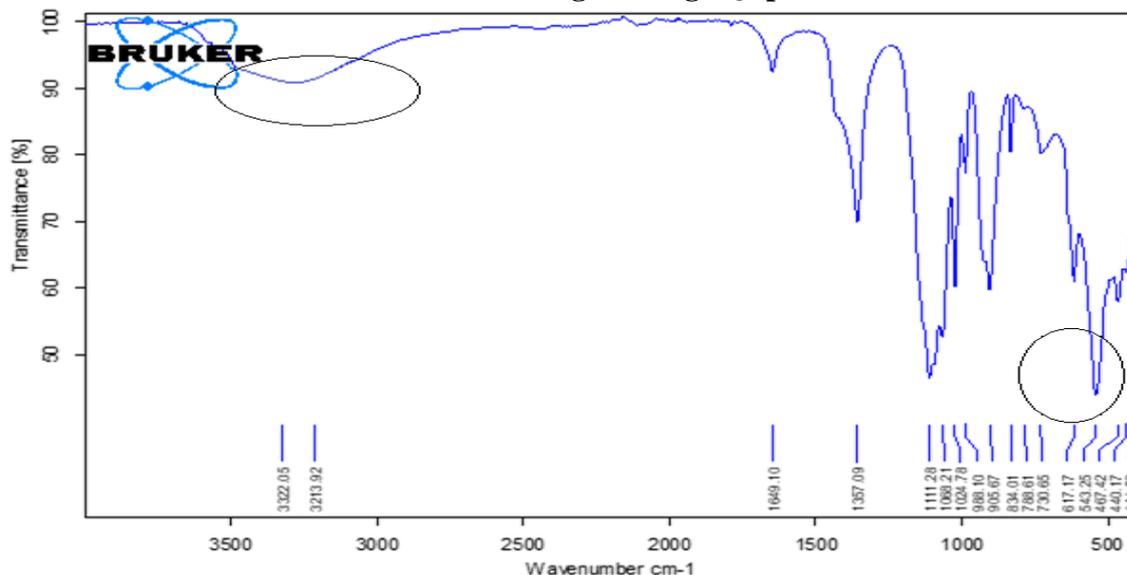
Dissertatsiyaning «**Qo'rg'oshin va kadmiy ionlarning modifikatsiyalangan elektrodlar yordamida elektrokimyoviy aniqlash usulini optimallashtirish**» deb nomlangan uchinchi qismida olingan natijalar va ularni muhokama qilishda optimal analitik reagentlarni tanlash to'g'risidagi va maqbulsharoitlarini tanlash bo'yicha ma'lumotlar mavjud. Turli xil fon elektrolitlari va bufer eritmalari tabiatining, reaktivlarning elektroksidlanishiga ta'siri aniqlangan. Qo'rg'oshin va kadmiyning voltammetrik xatti-harakatlarini o'rganish va keyinchalik ularni aniqlash uchun ma'lum bo'lgan EDTA, 8-oksikinolin, ditizon, kupferon, sulforsazen, kadion va boshqa tanlangan organik kompleks hosil qiluvchi reagentlar tomonidan turli xil fon elektrolitlari va bufer aralashmalarida o'zgartirilgan ES-larda amalga oshirildi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, analitik xususiyatlarga ko'ra, kadion va sulforsazen kadmiy va qo'rg'oshin ionlarini aniqlash uchun eng yaxshi voltammetrik reagentlardir.

Kompleks hosil qiluvchi reagentlarni hamda ularning o'rganilayotgan metall ionlari bilan hosil qilgan komplekslarining IQ-spektroskopik tahlili olindi va olingan

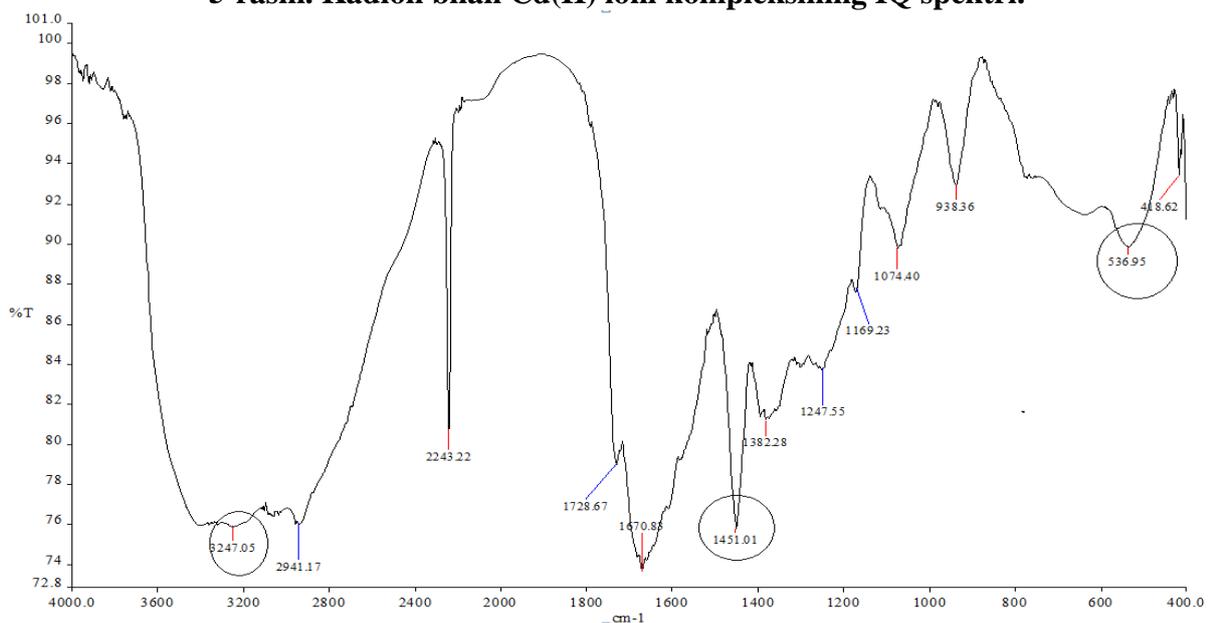
natijalardan ikkala reagentda ham gidroksid guruhi va amino guruhlarda bog‘lanish bo‘lishi taxmin qilindi. Olingan natijalar 4-7-rasmlarda keltirilgan.



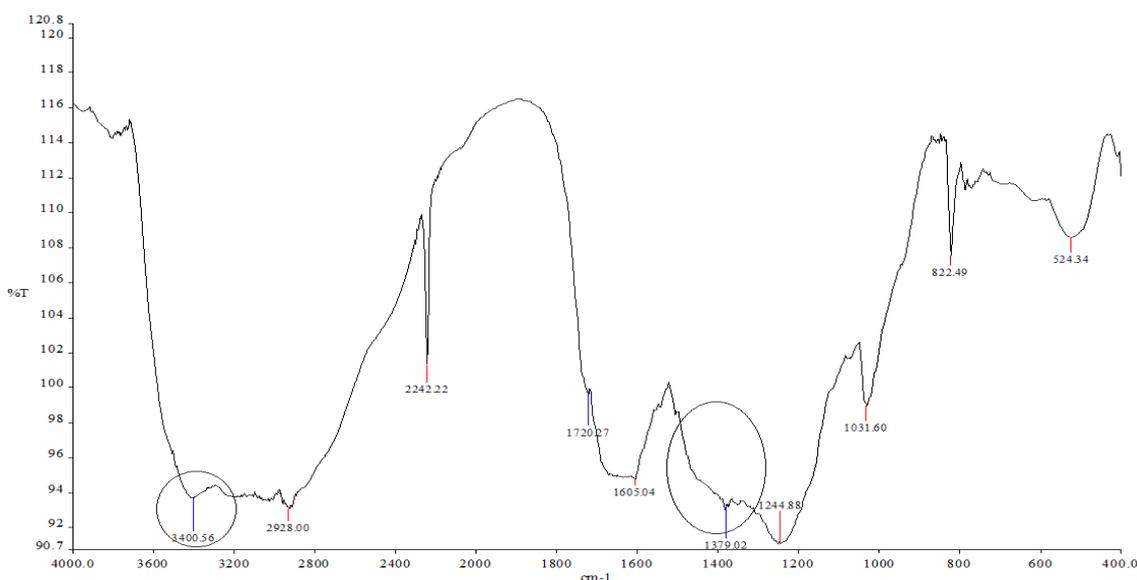
4-rasm. Kation reagentning IQ spektri.



5-rasm. Kation bilan Cd(II) ioni kompleksining IQ spektri.



6-rasm. Sulforsazen reagentning IQ spektri.



7-rasm. Sulforsazen bilan Pb(II) ioni kompleksining IQ spektri.

Kadmiy va qo'rg'oshin ionlari komplekslarining modifikatsiyalangan reagentlar bilan hosil bo'lishini tasdiqlash uchun reagent namunalari va uning metall ionlari bilan kompleksining RFA va SEM tahlillari spektrlari olib tashlandi, ularning komplekslari spektrlarida metall ionlariga xos cho'qqilar mavjud.

Keyingi tadqiqotlar davomida elektrokimyoviy sensorlarni modifikatsiyalashda qo'shiladigan modifikator miqdorining tok kuchi signalga bog'liqligi aniqlandi. (3-jadval)

3-jadval

Modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlarni ishlab chiqishda qo'shiladigan modifikator miqdorini tanlash

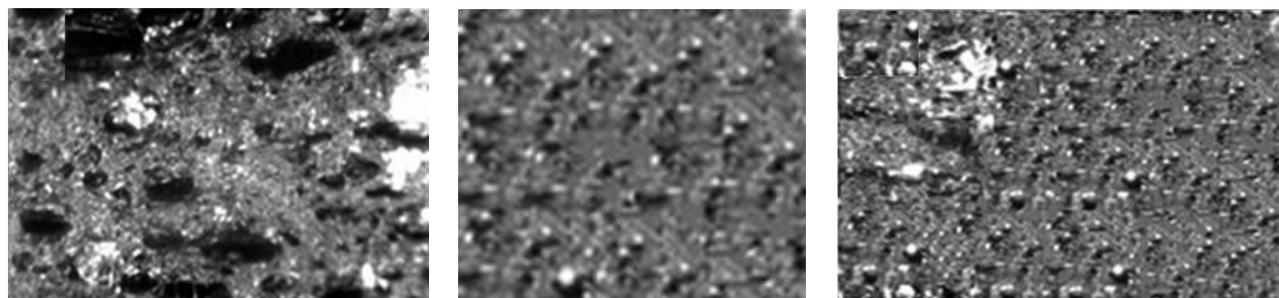
№	Modifikatorning miqdori, mg	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Sulforsazen bilan MES (Pb) I, mkA	12	17	23	33	36	28	26	18	12	9
2	Kadion bilan MES (Cd) I, mkA	9	14	22	32	30	23	17	14	7	5

Modifikator tarkibida 0,4-0,5 mg massa mavjud bo'lganda elektrodning elektr o'tkazuvchanligining ozgina pasayishi kuzatiladi, bu uning selektivligi va sezgirligining oshishi bilan qoplanadi, bu esa turli xil modifikatorlarning tabiati va konsentratsiyasini sozlashda amalga oshirishni ayniqsa muhim, zarur va maqsadga muvofiq qiladi (9-rasm).

Sorbentlardan foydalanish elektrokimyoviy sensorlarning katta partiyasi uchun modifikatorlarni tayyorlashga imkon berdi, chunki ular metrologik xususiyatlarining barqarorligini ta'minladi. Bundan tashqari, sorbentlar suvda eriydigan modifikatorlarning pastadan yuvilishini oldini oladi, ya'ni elektrodning ishlash muddatini oshiradi. Va nihoyat, sorbsiya paytida modifikatorlarning beqaror holatlari barqarorlashadi, ularning oksidlanish va gidroliz tezligi pasayadi.

Ushbu nazariy taxmini va eksperimental tasdiqni tasdiqlash uchun BS-500 elektron mikroskopi yordamida tanlab olingan kompleks hosil qiluvchi organik

reagentlar bilan yaratilgan elektrodning ishchi yuzasining mikroskopik tadqiqotlari olingan, bu 25 ming baravar ko'paygan. Olingan ba'zi elektron mikroskopik tasvirlarlar 8-rasmda keltirilgan.



1-ES, erituvchisiz

2-ES, spirtida eritilgan;

3- ES, ishqorda eritilgan

8-Rasm. Yaratilgan ishchi yuzalarning mikroskopik tasvirlari elektron mikroskop yordamida olingan o'zgartirilgan ES BS-500:

Mikroskopik tasvirlardan ko'rinib turibdiki, spirtli eritmada eritish orqali yaratilgan ES juda katta va rivojlangan ish yuzasiga, shuningdek faol markazlarga ega bo'lib, uning modifikatorsiz elektrodarga qaraganda yuqori sezgirligi va selektivligini aniqlaydi.

4-jadval

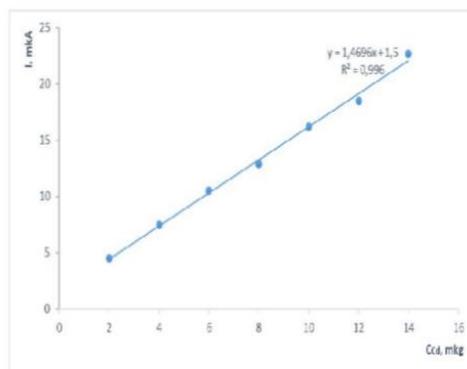
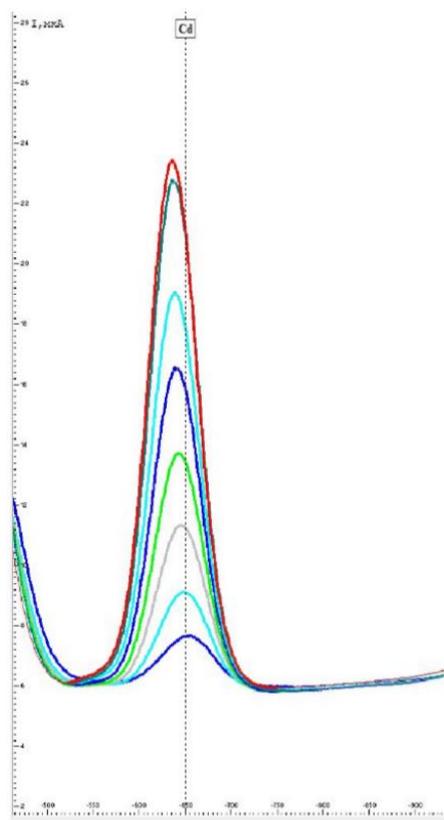
Metallarni individual eritmalarida aniqlashning inversion voltamperometrik analiz natijalari

Kiritildi Me, mkg		Topildi Me, mkg ($P=0,95; n=5; \bar{x} \pm \Delta X$)	S	S _r
Cd	0,5	0,49±0,03	0,06	0,123
	5,0	5,01±0,19	0,37	0,073
	50,0	50,53±0,87	0,30	0,006
Pb	0,2	0,19±0,05	0,03	0,155
	5,0	4,97±0,35	0,22	0,045
	30,0	29,49±1,16	0,12	0,004

Kadmiy va qo'rg'oshinning eng yaxshi signalini olish uchun maqbul sharoitlarni tanlab, olingan eksperimental ma'lumotlarning to'g'riligi va takrorlanuvchanligini ularni individual echimlarda aniqlamasdan to'liq kafolatlab bo'lmaydi. Misol tariqasida, 5-jadvalda kadmiy va qo'rg'oshinning bir nechta (kamida 5) parallel tajribalari asosida olingan inversion voltamperometrik tahlil natijalarining aniqligini baholash mezonlari keltirilgan.

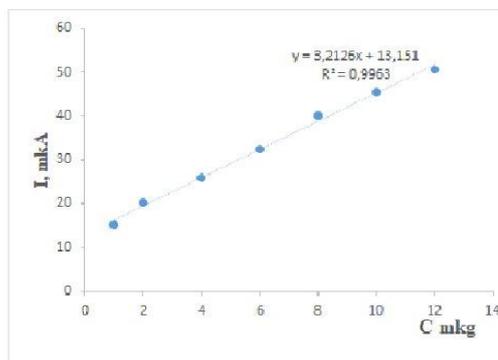
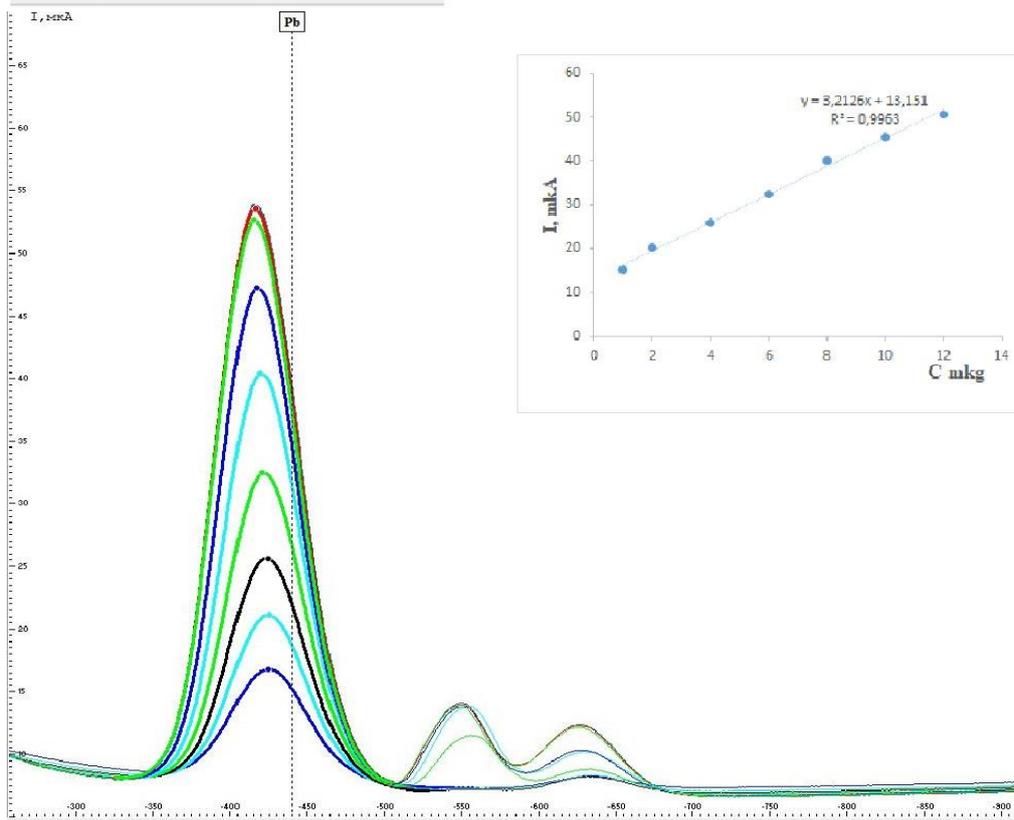
Jadvaldan ko'rinib turibdiki, kadmiy va qo'rg'oshinning turli konsentratsiyalarini aniqlashda ularning kiritilgan konsentratsiyalari topilgan miqdorlarga mos keladi va nisbiy standart chetlanishi 0,155 dan oshmaydi, bu ishlab chiqilgan inversion voltamperometrik usullarining yaxshi takrorlanishi va to'g'riligini ko'rsatadi.

Aniqlanayotgan elementlarning miqdoriy ta'rifi qo'shimchalar usuli bo'yicha amalga oshirildi, chunki metall konsentratsiyasining optimallashtirilgan diapazonlarida kalibrlash grafiklari to'g'ri chiziqli (rasm 9-10).



9.Rasm

Inversion-voltamperometrik uslubda Pb(II) ionini turli miqdorlarda individual eritmalaridan aniqlash natijalari (t.o.= 2,0 mkA; E=-420 mV; t=80 s; fon=0,1 M LiNO₃; pH=4,0)



Rasm 10.

Inversion-voltamperometrik uslubda Cd(II) ionini turli miqdorlarda individual eritmalaridan aniqlash natijalari (t.o.= 2,0 mkA; E=-600 mV; t=100 s; fon=1,0 M NH₄Cl; pH=4,5)

«Ishlab chiqilgan inversiyon-voltammetrik usulini sanoat chiqindilarni tarkibidan qurgoshin va kadmiy ionlarini aniqlashga qo'llanilishi» deb nomlangan tortinchi bobida qurgoshin va kadmiy ionlarini real obyektlarda ishlab chiqilgan inversiyon-voltammetrik usulida sanoat chiqindilarni tarkibidan

aniqlashga bagishlangan. Individual, ikkilamchi, uchlamchi va undan murakkab model aralashmalarida o'rganilgan metallarni aniqlandi (5-,6- jadvallar).

5-jadval

Individual eritmalarda qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar yordamida aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)

Kiritildi Me, mkg	Topildi Me, mkg	S	Sr
	22±0,06		
	5		
2	1		
30,0	2		4
Cd	52±0,08		
	5		
	1		

6-jadval

Pb(II) va Cd ionlarini murakkab model aralashmalar takibidan inversion-voltamperometrik aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)

Aralashmadagi komponentlar tarkibi va miqdori, mg	Me	$\bar{x} \pm \Delta x$	S	Sr
Cd(2,0)+Pb(1,0)+Cu(1,0)	Pb	1,04±0,13	0,11	0,105
	Cd	1,93±0,21	0,19	0,096
Cd(2,0)+Pb(1,0)+Cr(4,0)	Pb	0,981±0,084	0,07	0,075
	Cd	1,96±0,18	0,16	0,081
Cd(1,0)+Pb(2,0)+Zn(15)	Pb	1,99±0,10	0,09	0,045
	Cd	0,942±0,091	0,08	0,084
Cd(1,0)+Pb(1,0)+Cr(13,0)+Cu(10,0)	Pb	0,971±0,122	0,11	0,109
	Cd	0,963±0,124	0,11	0,112
Cd(5,0)+Pb(3,0)+Fe(15,0)+Mn(10,0)	Pb	2,90±0,29	0,25	0,086
	Cd	4,87±0,68	0,59	0,121
Cd(3,0)+Pb(0,5)+ +Cr(2,0)+Cu(10,0)+Fe(30,0)	Pb	0,509±0,072	0,06	0,123
	Cd	3,17±0,63	0,55	0,172

Jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, model ikkilamchi, uchlamchi va undan murakkab aralashmalarda qo'rg'oshin va kadmiyini aniqlash mumkin va barcha holatlarda nisbiy standart chetlanishi 0,172 dan oshmaydi, bu ishlab chiqilgan usullarning to'g'riligi va yaxshi takrorlanuvchanligini ko'rsatadi.

7-jadval

Tabiiy suvlarida qo'rg'oshin va kadmiyini modifikatsiyalangan elektrodlar yordamida inversiyon-voltammetrik aniqlash natijalari (P=0,95; n=5)

№ Namuna	Miqdor Pb, mkg/dm ³			Miqdor Cd, mkg/dm ³		
	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	Sr	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	Sr
1	1,56±0,38	0,33	0,031	1,14±0,22	0,20	0,171
2	2,08±0,35	0,30	0,034	1,92±0,28	0,24	0,126
3	1,88±0,40	0,35	0,038	0,751±0,157	0,14	0,183
4	1,63±0,50	0,44	0,067	1,37±0,24	0,21	0,154

Natijalar shuni ko'rsatadiki (jadval 7-9), ushbu ishlab chiqilgan usul bilan Pb(II) ionini murakkab aralashmalar va boshqa tabiiy ob'ektlardan aniqlash mumkin.

8-Jadval

Chiqindi suvlar tarkibidan "kiritildi-topildi" usulda qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini inversion-voltammetrik aniqlash natijalari (P=0,95; n =5, C_{Pb}=10,0 mkg C_{cd}=5,0 mkg)

№ Namuna	Qo'rg'oshinni konsentratsiyasi, mkg/dm ³			Kadmiyni konsentratsiyasi, mkg/dm ³		
	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r
1	10,72±0,38	0,33	0,031	4,84±0,42	0,29	0,059
2	9,95±0,35	0,30	0,034	4,91±0,28	0,23	0,046
3	9,27±0,40	0,35	0,038	4,77±0,31	0,31	0,065
4	9,54±0,50	0,44	0,067	4,78±0,27	0,27	0,056

Toshkent shahridagi ichimlik suvi tahlili shuni ko'rsatdiki, u aholi tomonidan foydalanish uchun juda mos keladi, chunki uning tarkibida qo'rg'oshin va kadmiy miqdori juda kam va RECHM dan oshmaydi.

9- Jadval

Chiqindi suvlari tarkibidan «qoshimchalar qoshish» usulida qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini inversion-voltammetrik aniqlash natijalari (P=0,95; n =5)

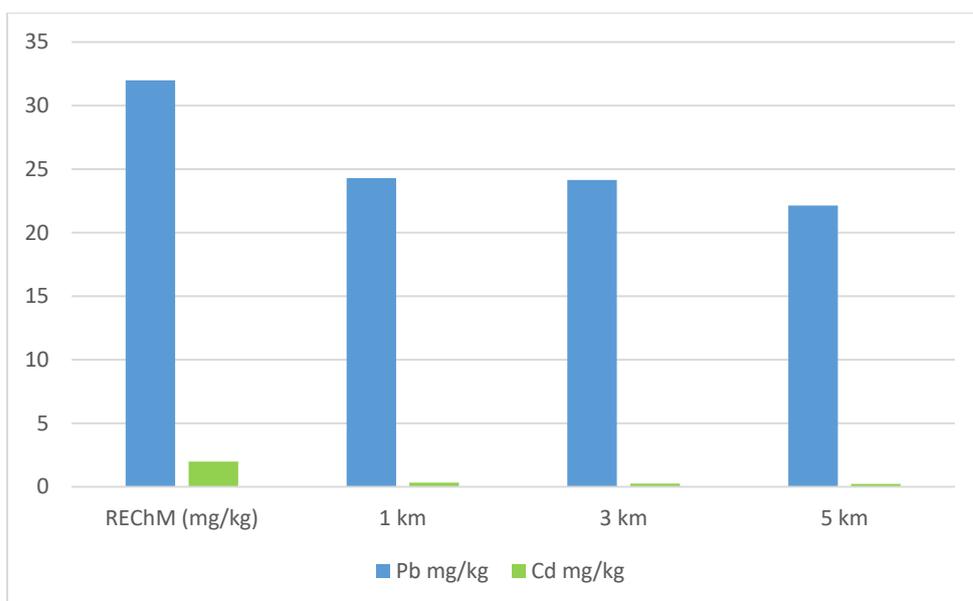
№ Namuna	Inversion-voltamperometrik miqdori Pb, mkg/dm ³			Sorbtsion-spektroskopik usulda Pb miqdori, mkg/dm ³		
	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r
1	10,71±0,25	0,42	0,039	10,72±0,38	0,33	0,031
2	8,98±0,64	0,44	0,049	8,95±0,35	0,30	0,034
3	9,67±0,48	0,39	0,040	9,27±0,40	0,35	0,038
4	6,55±0,50	0,44	0,067	6,54±0,50	0,44	0,067

10-jadval

Olmalik zavodi tuprogi tarkibidagi qo'rg'oshin va kadmiy ionlarini miqdorini monitoringi

Og'ir metallar	Masofa			
	REChM	1km	3 km	5 km
	Olmalik zavod suvi tarkibida og'ir metallar miqdori, o'rtacha, mg/kg			
Qo'rg'oshin, mg/kg	32,0±0,02	24.30±0,01	24,14±0,01	22,15±0,02
Kadmiy, mg/kg	2,00±0,05	0,322±0,01	0,251±0,02	0,233±0,02

Ishlab chiqilgan usulni tabiiy obektlarga (ichimlik suv, ochiq suv havzalaridagi namunalarga) qo'llanilishi optimal sharoitlarga asoslanib aniqlangan, tabiiy obektlar, ichimlik, oqar va oqava suv hamda tuproq namunalariga qo'shimchalar qo'shish usuli bilan o'rganib, tahlil qilindi va tasdiqlandi. 10-Jadvaldan hulosa qilib mahaliy sanoat chiqindilari tarkibidagi qurgoshin va kadmiy ionlarini inversion-voltamperometrik aniqlash mumkinligi, nisbiy standart chetlanishi 0,067 oshmasligi aniqlandi.



11-rasm. Olmaliq zavodi atrofidagi tuproqda Pb^{2+} va Cd^{2+} ionlarini tarqalishi

Izoh: turli masofadagi hududlar tuprog‘i tarkibidagi Pb^{2+} va $Cd(II)$ ionlarining miqdori (mkg/g): 1- ustun REChM (32,0 mkg/g qurgoshin ion uchun, 2,00 mkg/g kadmiy ion uchun); 2- masofa 1 km (24,30 va 0,322 mkg/g); 3 – masofa 3 km (24,14 va 0,251 mkg/g); 4 – masofa 5 km (22,15 va 0,233 mkg/g) tashkil etdi.

Tabiiy, chiqindi va ichimlik suvlarini tahlil qilish asosida ulardagi kadmiy va qo‘rg‘oshin REChM dan oshmaydigan miqdorda mavjud degan xulosaga kelish mumkin.

XULOSALAR

1. $Pb(II)$ va Cd ionlarini aniqlash uchun mahalliy ingredientlar asosidagi sezgir, selektiv modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar yaratildi. Ularni kation va sulfosarzen bilan modifikatsiyalashning maqbul sharoitlarini: sulfosarzendan hamda kation reagentlaridan 0,4-0,5 mg qo‘shilib 60-70⁰ C haroratda modifikatsiyalash orqali olingan elektrokimyoviy sensorlarda eng yaxshi natijalar olindi.

2. Kation va sulfosarzen reagentlarining kvant-kimyoviy hisoblash natijalari va IQ spektrlari olingan, hamda qurgoshin va kadmiy ionlari bilan kompleks hosil bo‘lishida ishtirok etuvchi funksional guruhlar aniqlandi.

3. Modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar yordamida $Pb(II)$ va Cd ionlarini inversion-voltamperometrik aniqlashda qulay sharoitlar: $Pb(II)$ uchun universal bufer eritmasining t.o.= 2,0 mA; E=-600 mV; pH=5,0-6,0, fon elektrolit 0,1 M $LiNO_3$, elektrod yuzasiga yig‘ilish vaqti 80 s.; Cd uchun universal bufer eritmasining pH=6,0-6,5, t.o.= 2,0 mA; E=-450 mV; fon elektrolit 1,0 M NH_4Cl , elektrod yuzasiga yig‘ilish vaqti 100 s. ekanligi aniqlandi.

4. Pb(II) va Cd ionlarini ishlab chiqilgan uslub yordamida quyi aniqlash chegarasini toppish uchun inversion-voltamperometrik uslub ishlab chiqilgan va Pb²⁺ ionlari uchun $0,4 \cdot 10^{-9}$ gr/l, Cd²⁺ ionlari uchun $1,0 \cdot 10^{-9}$ gr/l tashkil qildi, olingan natijalarning aniqligi korrelyatsiya koeffitsiyenti 1 ga yaqinligi bilan isbotlandi.

5. Pb(II) va Cd ionlarini aniqlash uchun ishlab chiqilgan inversion-voltamperometrik usul tuproq, tabiiy va oqova suvlar tarkibidan aniqlashda sinab ko`rildi va ekologik baho berildi;

6. Pb(II) va Cd ionlarini kadion va sulfosarzen bilan modifikatsiyalangan elektrokimyoviy sensorlar yordamida inversion-voltamperometrik aniqlash uslubi ishlab chiqildi, uslubning to`g`riligi olingan natijalarni boshqa betaraf zamonaviy usullar bilan solishtirish orqali baholandi, hamda ishlab chiqilgan uslub «Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» aksiyadorlik jamiyati («OKMK» AJ) Markaziy ilmiy-tadqiqot laboratoriyasida va «Elektrokimyozavod» qo`shma korxonasi aksiyadorlik jamiyati markaziy laboratoriyasida Pb(II) va Cd ionlarini aniqlashning ishlab chiqilgan inversion-voltamperometrik uslubi sinovdan o`tkazildi, hamda tarkibida Pb(II) va Cd ionlari bo`lgan obyektlar analizida qo`llashga tavsiya etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.16/30.12. 2019.К/Т.87.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Ахмаджонов Улугбек Гулом угли

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНВЕРСИОННО-
ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ
СВИНЦА И КАДМИЯ В ОТХОДАХ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**11.00.05 – Охрана окружающей среды и рациональное использование
природных ресурсов**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ХИМИИ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при министерстве Высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2024.2.PhD/K813

Диссертация выполнена в Ташкентском химико-технологическом институте.
Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице по адресу www.tktiti.uz и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziynet.uz

Научный руководитель: **Набиев Абдурахим Абдухамидович**
доктор философии по техническим наукам, доцент

Официальные оппоненты: **Кучаров Бахром Хайриевич**
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Файзиев Жахонгир Бахромович
доктор философии по техническим наукам, старший научный сотрудник

Ведущая организация: **Термезский государственный университет**

Защита диссертации состоится «16» XII 2025 г. в «9⁰⁰» часов на заседании Ученого совета DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 при Ташкентском научно-исследовательском институте химической технологии по адресу: 111116, Ташкентская область, Ташкентский р.-н, ул. Шурабазар, тел: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии за № 2025/40, с которой можно ознакомиться в ИРЦ (111116, Ташкентская область, Ташкентский р.-н, п.о.Шурабазар, тел: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

Автореферат диссертации разослан «3» XII 2025 года.
(протокол рассылки № 2025/40 от «01» декабря 2025 года).




А.Т. Джалилов
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.х.н., проф., академик


Ш.Н. Киёмов
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.х.н., с.н.с.


Х.С. Бекнazarов
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В последние годы в мире в результате интенсивного развития всех отраслей промышленности и широкого внедрения современных техногенных процессов наблюдается усиление негативного воздействия на окружающую среду через антропогенные факторы. В связи с этим в рамках экологического анализа качества природных поверхностных вод особое внимание уделяется разработке современных высокочувствительных и воспроизводимых методов, позволяющих определять и селективно выделять ионы тяжёлых металлов из объектов окружающей среды.

В мире ведутся научные исследования, направленные на создание ряда физических и физико-химических методов, позволяющих определять и разделять тяжёлые и токсичные металлы в ультрамикрочколичествах. В этой области важное значение имеет совершенствование электрохимических методов анализа, отвечающих экологическим требованиям, повышение их технологических и метрологических характеристик, увеличение экспрессности качественного и количественного определения, а также разработка методов обнаружения ионов тяжёлых металлов в объектах окружающей среды.

В нашей республике в связи с широким применением в химической промышленности и народном хозяйстве таких металлов, как свинец и кадмий, имеет важное значение разработка современных, более надёжных, экспрессных и экономичных методов их определения. В Стратегии развития «Нового Узбекистана» особо обозначены следующие задачи: «рациональное и эффективное использование водных ресурсов; снижение негативного воздействия на окружающую среду бытовых полигонов, не отвечающих экологическим требованиям; глубокая переработка местного сырьевого потенциала, освоение качественно новых видов продукции и технологий»¹. В этом контексте особое значение имеет совершенствование системного контроля качества и степени чистоты веществ при мониторинге окружающей среды с использованием органических реагентов, иммобилизованных на волокнистых носителях, полученных из местного сырья.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, поставленных в Указах Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года УП № 60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», от 30 октября 2019 года УП № 5863 «Об утверждении концепции охраны окружающей среды Республики Узбекистан на период до 2030 года» и Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № ПКМ-95 от 18 февраля 2020 года «Об утверждении общего технического регламента об экологической безопасности», а также других нормативных правовых актах, регулирующих данную сферу.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития

¹ Указ Президента Республики Узбекистан УП №4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии Действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

науки и технологий Республики. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике: «VII. Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В области методов определения токсичных ионов, таких как свинец и кадмий, научные исследования проводили многие зарубежные учёные – Ю. Золотов, Г. Моисеев, Н.А. Гавриленко, В.Дж. Лавлок, Г. Тунберг, Д. Аттенборо, Б. Коммонер, а в нашей республике – А.М. Геворгян, Х. Ф. Ботиров, М.А. Насимов, А.Х. Гамзаев, Х.Л. Пулатов, Р.Х. Джиянбаева, Б.Д. Кабулов, Ш.А. Муталов и другие.

В этих исследованиях были предложены методы, позволяющие одновременно осуществлять как концентрирование, так и определение ионов, а также рекомендовано совершенствование новых типов электродов для инверсионно-вольтамперометрического анализа. Рекомендовано расширение областей применения и усовершенствование технологий электрохимических сенсоров, модифицированных различными модификаторами, для инверсионно-вольтамперометрического определения ионов свинца и кадмия.

В настоящее время ведутся научные исследования, направленные на создание и внедрение эффективных технических средств для производства импортозамещающих продуктов на основе местного сырья, а также на разработку и практическое применение современных методов, позволяющих при помощи экологически безопасных электрохимических сенсоров одновременно определять и осуществлять мониторинг ионов тяжёлых и токсичных металлов.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского химико-технологического института и Национального университета Узбекистана по фундаментальному и прикладному проекту PZ-20171024319 по теме: «Разработка электрохимических сенсоров для определения ионов тяжёлых и токсичных металлов» (2018–2020 гг.).

Цель исследования состоит в разработке методов инверсионно-вольтамперометрического определения ионов свинца и кадмия в составе отечественных промышленных отходов, природных и сточных вод, а также почв с использованием модифицированных электродов.

Задачи исследования:

подбор селективного органического реагента для модификации электродов на основе графита и нахождение оптимальных условий (количество органических реагентов и влияние температуры модификации) и исследование свойств электрохимического датчика, модифицированного сульфурсазеном и кадмином для определения ионов свинца и кадмия;

проведение квантово-химических расчетов для определения механизма комплексообразования и изучение химизма образования комплексов с ионами Cd и Pb(II) методами электронной, ИК-спектроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа и СЭМ;

научное обоснование влияния времени и потенциала накопления на рабочем электроде, концентрации и pH, состава буферных растворов и фоновых электролитов на процесс инверсионно-вольтамперометрического определения ионов Pb(II) и Cd(II) с использованием модифицированных электрохимических сенсоров;

оценка правильности нового разработанного метода определения Pb(II) и Cd(II), выразив её через коэффициент корреляции; применение метода для анализа индивидуальных растворов, различных искусственных смесей, технологических и сточных вод, а также изучение влияния мешающих ионов;

сравнение аналитических и метрологических параметров разработанного метода инверсионной вольтамперометрии определения Pb(II) и Cd(II) с параметрами других современных альтернативных методов анализа.

Объектом исследования явились промышленные отходы и технологические образцы, а также воды, почвы и шламы, содержащие ионы свинца и кадмия.

Предметом исследования ионы свинца и кадмия, разработка электрохимических сенсоров, модифицированных различными органическими реагентами, а также проведение экологического мониторинга соединений, загрязняющих объекты окружающей среды.

Методы исследования. В диссертационной работе для определения ионов свинца и кадмия в качестве физико-химических методов использовались инверсионно-вольтамперометрия, полярография, спектрофотометрия, инфракрасная (ИК), рентгенофлуоресцентная и атомно-абсорбционная спектроскопия, а также квантово-химические методы расчёта для выявления функциональных групп, участвующих в образовании комплексов металлов с реагентами кадион и сульфосарзен.

Научная новизна исследования:

разработан метод инверсионно-вольтамперометрического определения ионов кадмия и свинца с использованием углерод-пастового электрода, модифицированного реагентами сульфосарзеном и кадионом;

получен модифицированный электрохимический датчик на основе графита с шириной рабочей поверхности 0,2 см², рабочим диапазоном потенциалов - от 1,8 В до +1,5 в;

определены факторы и оптимальные условия процесса, влияющие на разработанный инверсионно-вольтамперометрический метод обнаружения ионов свинца и кадмия;

разработан новый высокочувствительный метод определения ионов свинца и кадмия, для которого коэффициент корреляции, характеризующий точность измерения, близок к 1.

на основе разработанного инверсионно-вольтамперометрического метода установлена возможность эффективного экологического мониторинга окружающей среды при анализе различных природных смесей, технологических и сточных вод с использованием модифицированных электродов.

Практические результаты исследования:

разработан селективный и чувствительный метод инверсионно-вольтамперометрического определения ионов Pb(II) и Cd, до $0,4 \cdot 10^{-9}$ г/дм³ и до $1,0 \cdot 10^{-9}$ г/дм³ этих металлов соответственно с помощью электрохимических датчиков на основе графита, модифицированных сульфурсазеном и кадионом;

разработанный инверсионно-вольтамперометрический метод был применен для анализа и контроля содержания ионов Pb(II) и Cd в технологических водах, природных водах и шламах ОТМК и Навоийского электрокомбината, при этом показано, что ионы Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Cr³⁺ и Al³⁺ не препятствуют методам инверсии Pb(II) и Cd;

разработанным инверсионно-вольтамперометрическим методом ионы Pb(II) и Cd были обнаружены в почвах, источниках и сточных водах в количествах ниже допустимых пределов, что позволяет применять метод для решения экологических задач.

Достоверность результатов исследования объясняется тем, что структура и свойства полученных веществ были подтверждены современными физико-химическими методами анализа – ИК-спектроскопией, сканирующей электронной микроскопией (SEM) и рентгенофлуоресцентным анализом; соответствие экспериментальных и теоретических данных подтверждено методами «введено – найдено», квантово-химическими расчётами и сравнениями со стандартными образцами, а также подтверждено в условиях производства.

Научно-практическая обоснованность результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что определены оптимальные условия применения модифицированных электродов для определения ионов свинца (II) и кадмия и разработан новый метод, получены новые сорбционные системы в результате иммобилизации на полимерных волокнах, установлены оптимальные условия образования комплексных соединений свинца (II) и ионов кадмия с иммобилизованными органическими реагентами в этих системах, определена структура металлокомплексов, образующихся в процессе сорбции, а также разработаны методы инверсионно-вольтамперометрического определения.

Практическая значимость исследования заключается в том, что использование инверсионно-вольтамперометрических методов для определения и разделения ионов свинца (II) и кадмия из сточных вод, а также разработка экспрессных методов обнаружения и разделения токсичных металлов способствует предотвращению загрязнения окружающей среды, улучшению экологического климата, повышению социально-экономической эффективности, а также существенному улучшению экспрессности обнаружения и разделения токсичных металлов как загрязняющих веществ и потенциальных экотоксикантов.

Внедрение результатов исследований. На основании результатов исследований по разработке инверсионно-вольтамперометрического метода обнаружения ионов свинца и кадмия из состава сточных вод различной

природы с применением новых модифицированных электрохимических датчиков:

метод инверсинно-вольтамперометрического определения ионов свинца и кадмия с использованием модифицированных электрохимических сенсоров внедрён на практике в «Центральной научно-исследовательской лаборатории» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» («Акционерное общество «Алмалыкский горно-металлургический комбинат») согласно справке №572 от 1 июля 2024 года. В результате, появилась возможность определять и осуществлять мониторинг ионов свинца и кадмия в сточных водах, а также контролировать их соответствие установленным нормам;

модифицированный электрод для определения ионов свинца и кадмия был внедрён в практику в «Центральной научно-исследовательской лаборатории» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка № 572 от 1 июля 2024 года). В результате, полученный модифицированный электрод в качестве технического средства, позволил экспрессно определять ионы свинца и кадмия в сточных водах.

Апробация результатов исследования. На основе результатов исследования было сделано 6 докладов, из которых 2 на международных и 4 на республиканских научных конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации всего опубликовано 13 научных работ. Основные научные результаты диссертации доктора философии (PhD) Республики Узбекистан рекомендованы к публикации в 6 изданиях, включая 3 статьи, опубликованные в республиканских журналах, и 3 научные статьи в международных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации обоснована актуальность и необходимость исследования, изложены цели и задачи, объекты и предметы исследования. Показано соответствие исследования актуальным направлениям развития науки и технологий Республики, приведена научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты научная и практическая значимость полученных данных, внедрение в практику результатов исследования, опубликованные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации «**Свойства основных токсичных металлов и их влияние на окружающую среду**» приведены области применения тяжелых и токсичных металлов, в частности свинца и кадмия, их токсичное влияние на организм человека, окружающую среду и критический обзор по их определению. В обзоре литературы приведены различные методы анализа спектроскопические, флуоресцентные, сорбционные, хроматографические, а также аналитические параметры и метрологические особенности некоторых ГОСТ методов по обнаружению данных металлов. Показаны проблемы при

анализе этих металлов, недостаточной чувствительности и селективности методов определения без маскировки мешающих ионов. Анализ приведенных исследований в литературе позволил выбрать цель, задачи и объект исследования.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Применяемые методики и техника эксперимента инверсионно-вольтамперометрического метода»**, представлены оптимальные условия инверсионно-вольтамперометрического определения свинца и кадмия при разработке методики изготовления твердых электродов, выбор компонентов смеси углеродных паст и их пропорций.

Селективность электрохимического датчика угольно-пастового электрода (УПЭ) также может быть увеличена за счет модификации электрода. Для этого на конец металлической (например, медной) проволоки или пластины наносится паста, полученная путем смешивания графитового порошка, связующего вещества и необходимого модификатора. После затвердевания эта паста используется для контакта с испытуемым электролитом. Модификатором может быть активное вещество, которое избирательно реагирует с выбранными ионами металлов, или комплекс, который эффективно связывает ионы или молекулы металла с поверхностью пасты.

Свойства твердых модифицированных электродов в первую очередь зависят от соотношения компонентов, входящих в состав угольной пасты, поэтому сначала готовили смеси, состоящие из графитового порошка, воска и модификатора в различных пропорциях (по массе). Установлено, что при увеличении содержания графита в смеси электрическая проводимость электрода увеличивается, поэтому должны быть достигнуты оптимальные пропорции компонентов углеродной пасты.

Оптимальное количество, вводимое в угольную пасту модификатора, выбиралось на основе полученных экспериментальных данных. В оптимизированных условиях изготавливают электроды, содержащие 0,1-0,8 г модификатора. Из полученных данных следует, что оптимальное количество модификатора в пасте находится на уровне 0,2-0,4 г, так как с увеличением его содержания в смеси угольной пасты и воска графит уменьшается соответственно снижается электропроводность всей системы (электрода), а также ее чувствительность, что является модификацией, это связано с тем, что модификатор не обладает удельной электропроводностью, и поэтому его включение в пасту определяет электропроводность всей системы. В таблице 1 даны вольтамперные кривые Pb и Cd, полученные с помощью различных типов модифицированного пастового электрода (УРЭ). Как видно из таблицы, максимальные аналитические сигналы были получены с использованием УПЭ, модифицированного и полученного с помощью сульфурсазена и кадиона для свинца и кадмия.

Таблица 1

Результаты сравнения различного типа модификаторов в производстве УПЭ
($\bar{x} \pm \Delta X$; P = 0,95)

Введено Me, мкг (условия анализа)	h, мм	Природа модификатора	Найдено Me, мкг	n	S	S _f
Pb 5,0 мкг/мл (фон 0,1 М LiNO ₃ ; д.т. = 1,0 мкА; E _н = -0,42 В; t _н =80 с)	65	сульфорсазен	4,9 ± 0,25	5	0,14	0,028
	30	8-оксихинолин	4,5 ± 0,31	5	0,25	0,055
	25	арсеназо III	5,4 ± 0,23	5	0,19	0,035
	15	пирокатехин	4,8 ± 0,26	5	0,21	0,043
	10	пиридилазорезрцин	3,9 ± 0,18	5	0,15	0,038
Cd 16,0 мкг/мл (фон 1,0М NH ₄ Cl; д.т. = 2,0 мкА; E _н = -0,6 В; t _н =100 с)	50	ЭДТА	15,9 ± 0,25	5	0,20	0,012
	55	пирокатехин	15,1 ± 0,34	5	0,28	0,018
	-	купферон	-	-	-	-
	20	кадион	16,4 ± 0,35	4	0,22	0,013
	25	дитизон	15,3 ± 0,40	4	0,25	0,016

Природа и концентрация фонового электролита и буферной смеси на инверсионно-вольтамперометрическое определение Pb и Cd являются основными факторами, влияющими на образование АС изучаемых металлов, поэтому для выбора оптимального режима работы изучали электрохимическое поведение свинца и кадмия в различных кислотно-основных средах.

Из данных таблицы 1 и рис.1-2 можно сделать вывод, что наилучшие результаты наблюдаются при определении Cd – (0,10 м NH₄Cl), Pb – (1,0 м LiNO₃), и поэтому все дальнейшие исследования проводились в соответствии с их оптимальными концентрациями в этих фоновых электролитах и буферных смесях.

Таблица 2

Результаты инверсионно-вольтамперометрического определения свинца и кадмия в фоновых электролитах различной природы и концентрации (т.д. 1,0 мкА; τ_н=90 с; C_{Pb}=1,0 мкг/дм³; C_{Cd} = 5,0 мкг/дм³)

Fon tabiati va konsentratsiyasi	Cd		Pb	
	E _н , В	h, мм	E _н , В	h, мм
0,1 М H ₃ PO ₄	—	—	—	—
B.-R.B., pH 6,8	-0,80	42	-0,77	40
B.-R.B., pH 5,5	—	—	-0,72	30
1,0 М KCl	-0,52	30	-0,70	40
1,0 М NaCl	-0,44	40	-0,29	35
0,1 М LiNO ₃	-0,76	38	-0,42	58
1,0 М Na ₂ SO ₄	-0,88	52	-0,640	52
1,0 М NaNO ₃	-0,72	32	-0,90	32
1,0 М NH ₄ Cl	-0,60	59	-0,54	38

Для получения более полной информации о влиянии кислотности и основности среды на полезный аналитический сигнал (АС) кадмия и свинца были проведены исследования по определению характера и степени влияния pH среды на форму и пик металлов, определяемые в различных фоновых электролитах и буферных смесях. Была выбрана оптимальная и максимально допустимая концентрация фонового электролита (буферной смеси), при

которой вольтамперограмма (пик) определяемого металла имела наилучшую во всех отношениях форму.

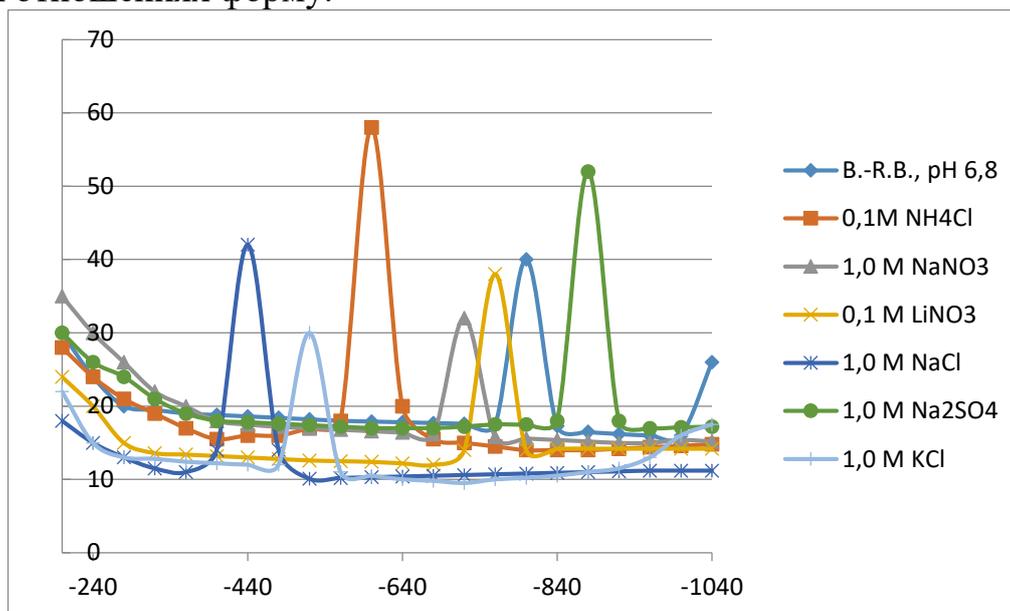


Рис.1. Влияние фонового электролита на инверсионно-вольтамперометрическое определение ионов кадмия

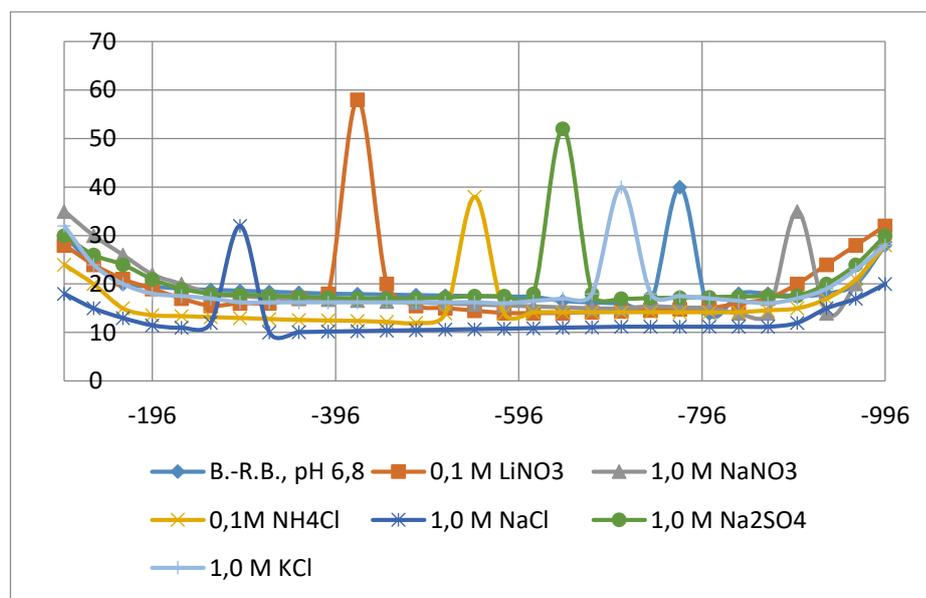


Рис.2. Влияние фонового электролита на инверсионно-вольтамперометрическое определение ионов свинца

Такая оптимальная и допустимая фоновая электролитная природа и для нахождения максимальной концентрации определялась аналитическим сигналом ионов исследуемого металла при повышении их концентрации в присутствии различных фоновых электролитов и буферных примесей. Однако контроль электрохимической реакции требует поддержания протондонорной активности окружающей среды в строго определенных пределах на протяжении всего электролиза, где фоновые электролиты (буферная смесь) играют доминирующую и решающую роль.

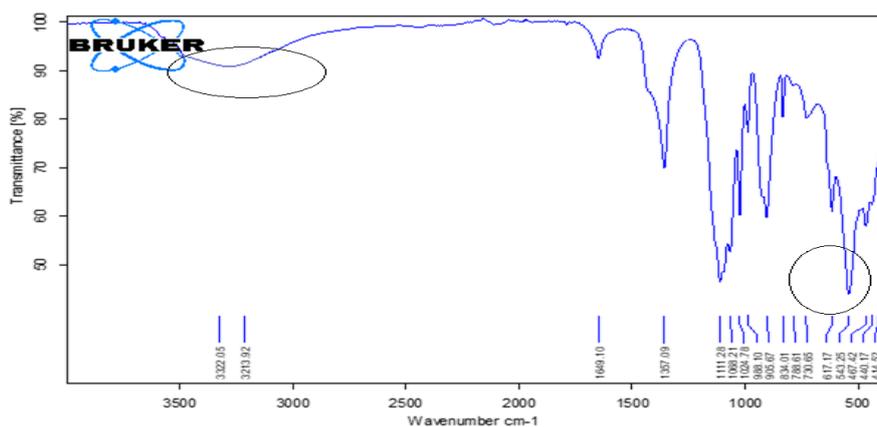


Рис.5. ИК-спектр комплекса реагента кадмона с ионами кадмия

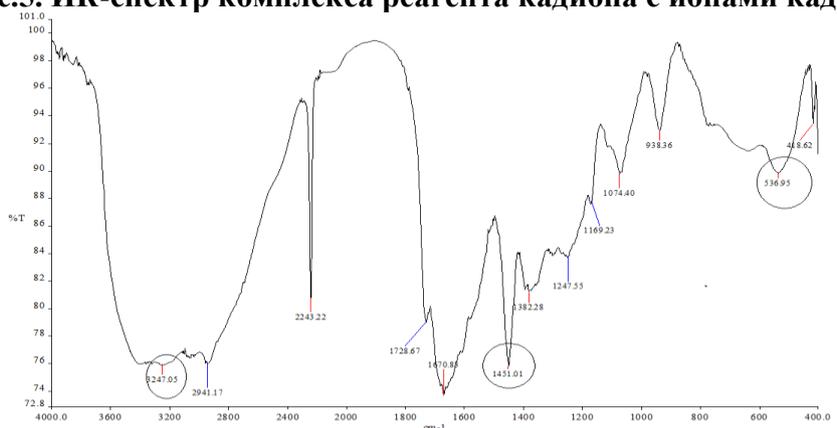


Рис.6. ИК спектр реагента сульфурсазена

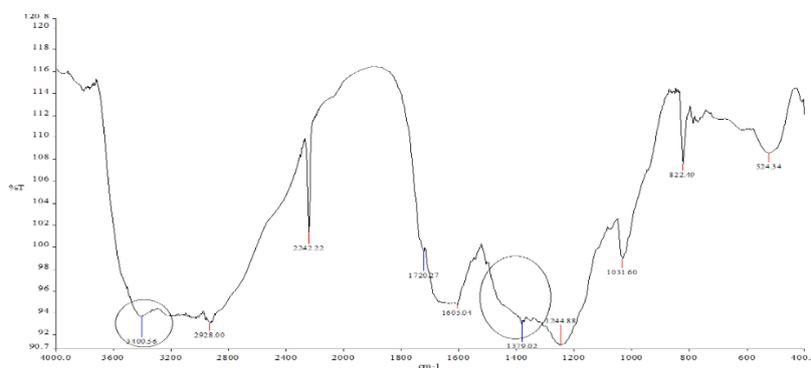


Рис.7. ИК спектр комплекса свинца с сульфурсазеном

Для подтверждения образования комплексов ионов кадмия и свинца с модифицированными реагентами были сняты спектры РФА и SEM-анализов образцов реагента и его комплекса с ионами металлов, в спектрах комплексов которых есть пики, специфичные для ионов металлов.

В последующих экспериментах была определена зависимость количества модификатора, добавляемого в ЭС от значения силы тока.

Таблица 3

**Зависимость силы тока (I, мкА) от состава модификатора в угольной пасте (D)
1-сульфазен; 2-кадион.**

№	Количество модификатора, мг	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	УПЭ с сульфурс. (Pb) I, мкА	12	17	23	33	36	28	26	18	12	9
2	УПЭ с кадином (Cd) I, мкА	9	14	22	32	30	23	17	14	7	5

При наличии в составе 0,4-0,5 мг модификатора наблюдается небольшое снижение электропроводности электрода, которое компенсируется повышением его селективности и чувствительности, что делает реализацию особенно важной, необходимой и целесообразной при корректировке свойств и концентрации различных модификаторов.

Использование в качестве сорбентов угля позволило изготавливать модификаторы для большой партии электрохимических датчиков, так как они обеспечивали стабильность их метрологических свойств. Кроме того, сорбенты препятствуют вымыванию из пасты водорастворимых модификаторов, а значит, увеличивают срок службы электродов. Наконец, при сорбции неустойчивые состояния модификаторов стабилизируются, скорость их окисления и гидролиза снижается.

Для подтверждения этого теоретического предположения и экспериментального подтверждения с помощью электронной микроскопии ES BS-500 были получены микроскопические исследования рабочей поверхности электрода, созданного комплексобразующими органическими реагентами, на поверхности угольно-пастового электрода, отобранными с увеличением в 25 тыс. раз. Некоторые полученные электронные микроскопические изображения показаны на рисунке 8.

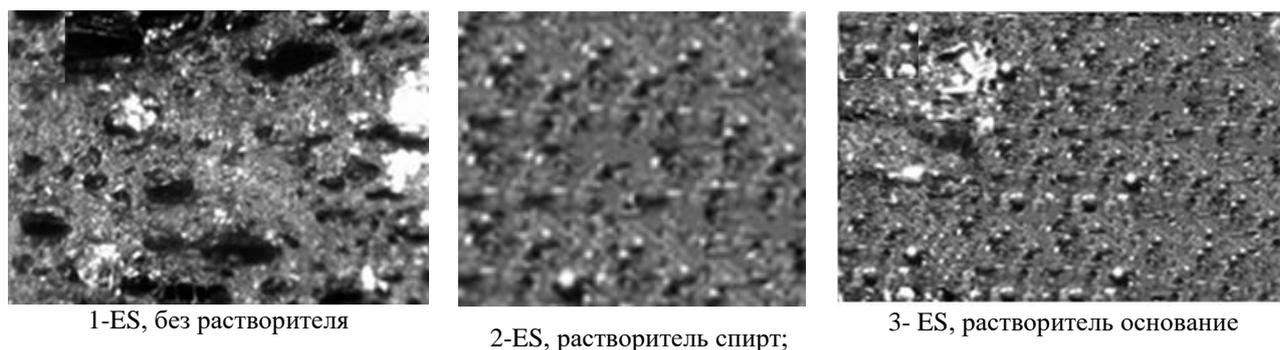


Рис.8. Микроскопические изображения созданных рабочих поверхностей были получены с помощью электронного микроскопа ES BS-500.

Как видно из микроскопических изображений, электрод созданный растворением в спиртовом растворе, имеет очень большую и развитую рабочую поверхность, а также активные центры, что определяет ее более высокую чувствительность и селективность, чем электроды без модификаторов.

Выбирая оптимальные условия для получения наилучшего сигнала кадмия и свинца, нельзя полностью гарантировать точность и воспроизводимость полученных экспериментальных данных, не определив их в отдельных индивидуальных растворах. В качестве примера в таблице 4 приведены результаты оценки точности инверсионной вольтамперометрической методики, полученные при нескольких (не менее 5) параллельных определениях ионов кадмия и свинца.

Таблица 4

Результаты инверсионно-вольтамперометрического определения ионов кадмия и свинца в индивидуальных растворах

Введено Me, mkg		Найдено Me, mkg ($P=0,95; n=5; \bar{x} \pm \Delta X$)	S	S _r
Cd	0,5	0,49±0,03	0,06	0,123
	5,0	5,01±0,19	0,37	0,073
	50,0	50,53±0,87	0,30	0,006
Pb	0,2	0,19±0,05	0,03	0,155
	5,0	4,97±0,35	0,22	0,045
	30,0	29,49±1,16	0,12	0,004

Данные таблицы 4 показывают, что при определении различных концентраций кадмия и свинца их вводимые концентрации соответствуют найденным величинам, а относительное стандартное отклонение не превышает 0,155, что свидетельствует о хорошей воспроизводимости и точности разработанных методов инверсионной вольтамперометрии.

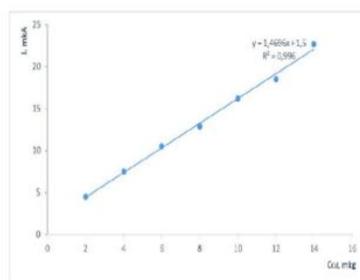
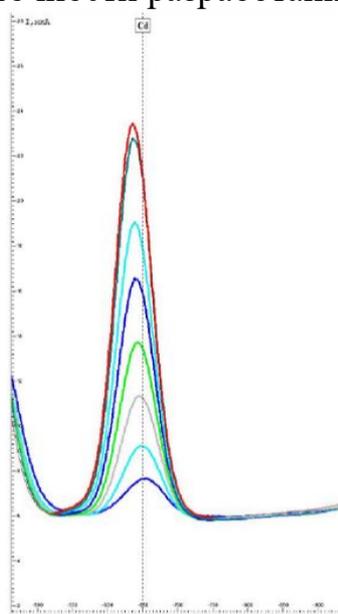


Рис. 9. Результаты определения ионов кадмия из отдельных растворов в различных количествах инверсионно-вольтамперометрическим методом ($t.o.= 2,0$ мкА; $E=-440$ мВ; $t=100$ с; $f_{on}=0,1$ М HNO_3 ; $pH=6,0$)

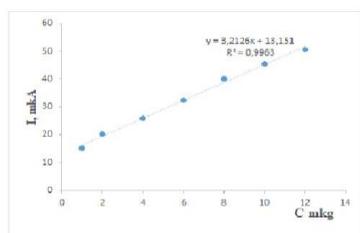
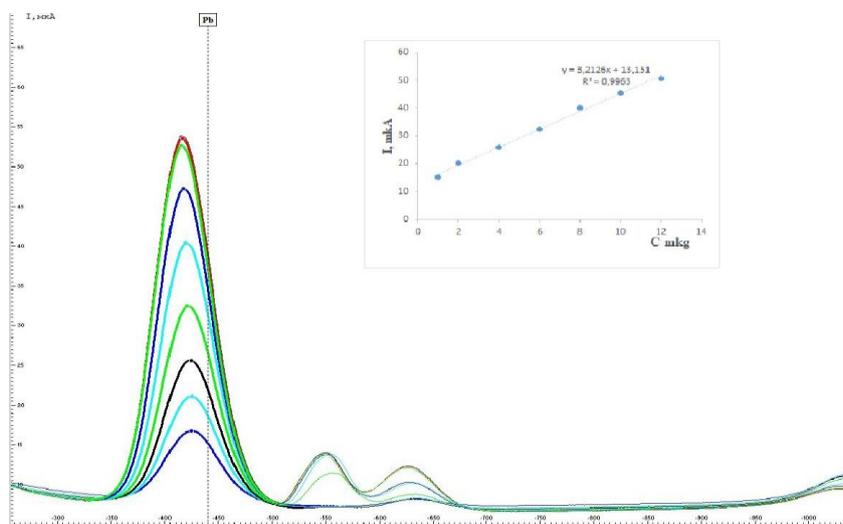


Рис. 10. Результаты определения ионов Pb(II) из отдельных растворов в различных количествах инверсионно-вольтамперометрическим методом ($t.o.= 2,0$ мкА; $E=-650$ мВ; $t=100$ с; $pH=8,0$)

Количественное определение изучаемых элементов проводилось методом добавок, так как в оптимизированных диапазонах концентраций металлов калибровочные графики являются прямолинейными (рис. 9-10).

Четвертая глава, озаглавленная «Применение разработанного инверсионно-вольтамперометрического метода при определении ионов свинца и кадмия из состава промышленных отходов», посвящена определению ионов свинца и кадмия из состава промышленных отходов АГМК инверсионно-вольтамперометрическим методом, разработанным на реальных объектах. Проведены эксперименты по выявлению ионов металлов в индивидуальных, двойных, тройных и более сложных модельных смесях (табл.5, 6).

Таблица 5

Результаты обнаружения ионов свинца и кадмия в индивидуальных растворах (P=0,95; n=5)

Введено Me, мкг	Найдено Me, мкг	S	Sr
	22±0,06		
	5		
2	1		
30,0	2		4
Cd	52±0,08		
	5		
	1		

Таблица 6

Результаты инверсионно-вольтамперометрического определения свинца и кадмия в модельных смесях (P=0,95; n =5)

Состав анализируемой смеси, мкг	Найдено Me, мкг (P=0,95; n=5)			
	Me	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	Sr
Cd(2,0)+Pb(1,0)+Cu(1,0)	Pb	1,04±0,13	0,11	0,105
	Cd	1,93±0,21	0,19	0,096
Cd(2,0)+Pb(1,0)+Cr(4,0)	Pb	0,981±0,084	0,07	0,075
	Cd	1,96±0,18	0,16	0,081
Cd(1,0)+Pb(2,0)+Zn(15)	Pb	1,99±0,10	0,09	0,045
	Cd	0,942±0,091	0,08	0,084
Cd(1,0)+Pb(1,0)+Cr(13,0)+Cu(10,0)	Pb	0,971±0,122	0,11	0,109
	Cd	0,963±0,124	0,11	0,112
Cd(5,0)+Pb(3,0)+Fe(15,0)+Mn(10,0)	Pb	2,90±0,29	0,25	0,086
	Cd	4,87±0,68	0,59	0,121
Cd(3,0)+Pb(0,5)+Cr(2,0)+Cu(10,0)+Fe(30,0)	Pb	0,509±0,072	0,06	0,123
	Cd	3,17±0,63	0,55	0,172

Как видно из табличных данных, метод позволяет обнаруживать свинец и кадмий в двойных, тройных и более сложных смесях, а относительное стандартное отклонение во всех случаях не превышает 0,172, что свидетельствует о правильности и хорошей воспроизводимости разработанных методов.

Таблица 7

Результаты инверсионно-вольтамперометрического определения свинца и кадмия в природных водах ($P=0,95$; $n=5$)

№ пробы	Количество Pb, мкг/дм ³			Количество Cd, мкг/дм ³		
	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r
1	1,56±0,38	0,33	0,031	1,14±0,22	0,20	0,171
2	2,08±0,35	0,30	0,034	1,92±0,28	0,24	0,126
3	1,88±0,40	0,35	0,038	0,751±0,157	0,14	0,183
4	1,63±0,50	0,44	0,067	1,37±0,24	0,21	0,154

Результаты показывают (табл.7), что с помощью этого разработанного метода можно идентифицировать ионы Pb(II) из сложных соединений и других природных объектов.

Таблица 8

Инверсионно-вольтамперометрическое обнаружение ионов свинца и кадмия в сточных водах методом «введено-найдено» результаты ($P=0,95$; $n=5$, $C_{Pb}=10,0$ мкг $C_{Cd}=5,0$ мкг)

№ Namuna	Концентрация свинца, мкг/дм ³			Концентрация кадмия, мкг/дм ³		
	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r
1	10,72±0,38	0,33	0,031	4,84±0,42	0,29	0,059
2	9,95±0,35	0,30	0,034	4,91±0,28	0,23	0,046
3	9,27±0,40	0,35	0,038	4,77±0,31	0,31	0,065
4	9,54±0,50	0,44	0,067	4,78±0,27	0,27	0,056

Анализ питьевой воды в городе Ташкенте показал, что она вполне пригодна для использования населением, так как содержание свинца и кадмия в ней очень низкое и не превышает ПДК.

Таблица 9

Результаты инверсионно-вольтамперометрического и сорбционно-спектроскопического определения ионов свинца и кадмия методом «добавок» из состава сточных вод ($P=0,95$; $n=5$)

№ пробы	Инверсионно-вольтамперометрия Pb, мкг/дм ³			Сорбционная спектроскопия концентрация Pb, мкг/дм ³		
	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r	$\bar{x} \pm \Delta X$	S	S _r
1	10,71±0,25	0,42	0,039	10,72±0,38	0,33	0,031
2	8,98±0,64	0,44	0,049	8,95±0,35	0,30	0,034
3	9,67±0,48	0,39	0,040	9,27±0,40	0,35	0,038
4	6,55±0,50	0,44	0,067	6,54±0,50	0,44	0,067

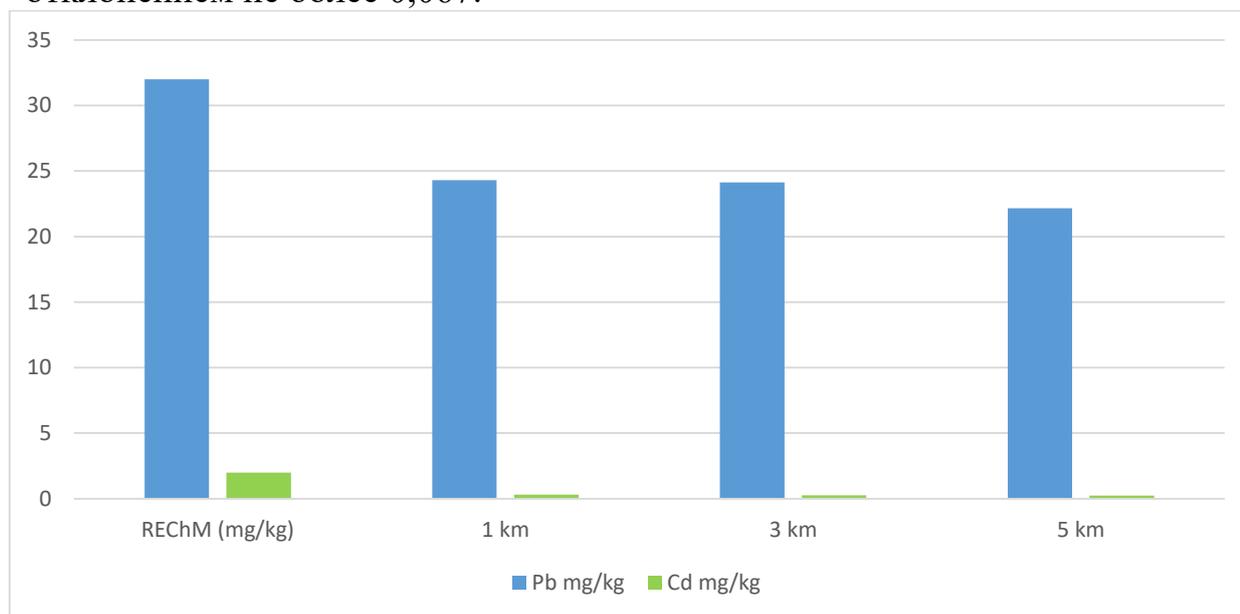
Применение разработанного метода к природным объектам (питьевая вода, пробы в открытых водоемах) было определено на основе оптимальных условий, изучено, проанализировано и подтверждено методом «добавок» в пробах природных объектов, питьевой, проточной и сточной воды, а также почвы.

Таблица 10

Мониторинг содержания ионов свинца и кадмия в почвах Олмалыкского завода

Ионы металлов	Расстояние			
	ПДК	1km	3 km	5 km
	Среднее содержание ионов металлов в сточных водах Олмалыкского завода, мг/кг			
Свинец, мг/кг	32,0±0,02	24.30±0,01	24,14±0,01	22,15±0,02
Кадмий, мг/кг	2,00±0,05	0,322±0,01	0,251±0,02	0,233±0,02

Из таблицы 10 можно сделать вывод о возможности инверсионно-вольтамперометрического определения ионов свинца и кадмия в составе отходов отечественной промышленности с относительным стандартным отклонением не более 0,067.

Рис. 11. Распределение ионов Pb^{2+} и Cd^{2+} в почве Алмалыка

Таким образом, на основе результатов определения содержания ионов Pb^{2+} и Cd^{2+} в почвах различных удаленных территорий составило: столбец 1 - ПДК (для иона свинца 32,0 мкг/г, для иона кадмия 2,00 мкг/г); столбец 2 - расстояние 1 км (24,30 и 0,322 мкг/г); столбец 3 – расстояние 3 км (24,14 и 0,251 мкг/г); 4 – расстояние 5 км (22,15 и 0,233 мкг/г).

На основании анализа природных, сточных и питьевых вод и почв можно сделать вывод о наличии в них кадмия и свинца в количествах, не превышающих предельно допустимые концентрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Созданы чувствительные селективно модифицированные электрохимические сенсоры на основе отечественных ингредиентов для обнаружения ионов свинца и кадмия. Наилучшие результаты при оптимизации условий получены их модификацией катионом и сульфосарзенем: добавлением 0,4 – 0,5 мг реагентов при температуре 60-70⁰С.

2. Результаты квантово-химических расчетов и спектры поглощения ИК-спектроскопии и ренгено-флуоресцентного анализа катионовых и сульфосарзиновых реагентов, а также определены функциональные группы, участвующие в комплексообразовании с ионами металлов.

3. Установлены оптимальные условия при инверсионно-вольтамперометрическом определении ионов Pb(II) и Cd с помощью модифицированных электрохимических датчиков: рН универсального буферного раствора для Pb(II) т.д. 0,1мкА, рН=5,0-6,0, фоновый электролит - 0,1 М LiNO₃, время сборки на поверхности электрода 80 сек – 0,60 В; рН универсального буферного раствора для Cd=6,0-6,5, фоновый электролит 1,0 М NH₄Cl, время сборки на поверхности электрода 100 секунд в диапазоне -0,4 – -0,5 В.

4. Разработана инверсионно-вольтамперометрическая методика обнаружения ионов Pb(II) и Cd модифицированными электродами с нижним пределом определения для ионов Pb²⁺ 0,4·10⁻⁹ г/дм³ и для ионов Cd²⁺ 1,0·10⁻⁹ гр/дм³, точность полученных результатов доказана близостью коэффициента корреляции 1.

5. Разработанный инверсионно-вольтамперометрический метод определения ионов Pb(II) и Cd был апробирован при анализе состава почв, природных и сточных вод, а также проведена их экологическая оценка.

6. Разработанный метод инверсионно-вольтамперометрического обнаружения ионов Pb(II) и Cd с помощью электрохимических датчиков, модифицированных катионом и сульфосарзенем, точность метода оценивалась путем сравнения полученных результатов с другими независимыми известными методами, а также метод был испытан в Центральной научно-исследовательской лаборатории акционерного общества «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (АО «ОКМК») а в центральной лаборатории АО СП «Электрохимзавод» и разработанный инверсионно-вольтамперометрический метод обнаружения ионов Pb(II) и Cd, рекомендован к применению при анализе объектов, содержащих ионы Pb(II) и Cd.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 AT THE TASHKENT SCIENTIFIC
RESEARCH INSTITUTE OF CHEMICAL TECHNOLOGIES**

TASHKENT INSTITUTE OF CHEMICAL TECHNOLOGY

Ahmadjonov Ulugbek Gulom ogli

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR THE INVERSION-
VOLTAMMETRIC DETERMINATION OF LEAD AND CADMIUM IONS
IN DOMESTIC INDUSTRIAL WASTE**

11.00.05- Environmental Protection and rational use of Natural Resources

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
CHEMICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2024.2.PhD/K813

The dissertation has been prepared at the Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology.

The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the scientific council www.tktiti.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal www.zivonet.uz.

Research supervisor:

Nabiev Abdurakhim Abdukhamidovich
Doctor of Philosophy in Technical Sciences,
Associate Professor

Official opponents:

Kucharov Bakhrom Khayrievich
Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher

Fayziev Zhahongir Bakhromovich
Doctor of Philosophy in Engineering Sciences,
Senior Researcher

Leading organization:

Termiz State University

The dissertation will be defended on "18" XII 2025 at "09:00" hours at a meeting of the Scientific Council DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 at the Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology at 111116, Tashkent region, p. Tashkent, st. Shurabazar, Phone: (+99895) 144-67-83, e-mail: ooo_tniixt@mail.ru.

The dissertation has been registered at the Informational Resource Center of the Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology at: under № 2025/40 (Address: 111116, Tashkent region, p. Tashkent, st. Shurabazar. Phone: (+99895) 144-67-83, e-mail: ooo_tniixt@mail.ru).

The abstract of the dissertation has been distributed on «3» XII 2025 year
Protocol at the register № 2025/40 dated «01» december 2025 year




A.T. Dzhaliylov
Chairman of the Scientific Council for
Awarding of the scientific degrees,
Doctor of Chemical Sciences, Akademik


Sh. N. Qiyomov
Scientific Secretary of the Scientific
Council for Awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences., Senior Scientific Scientist


H.S. Beknazarov
Chairman of the Scientific Seminar under Scientific
Council for awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of (PhD) dissertation)

The aim of the research is to develop an inversion voltammetric method for the detection of lead and cadmium ions in industrial waste, water, and soil using modified electrodes.

The objects of the research were samples of technological solutions, wastewater, drinking and natural surface waters, soil, and sludge containing lead and cadmium ions.

Scientific novelty of the study:

a coal paste electrode with sulforsazene and cation reagents has been modified and a method has been developed to detect cadmium and lead ions in an inversion voltamperometric manner;

a modified graphite - based electrochemical sensor with a working surface width of 0.2 cm², working potential range-from 1.8 V to +1.5 V is obtained;

factors affecting the inversion-voltamperometric method of detecting developed lead and cadmium ions and optimal conditions of the process have been identified;

the correctness of the newly developed method of determination of lead and cadmium ions by the proximity of the correlation coefficient to 1 isobolated that it has high sensitivity and made it possible to conduct environmental monitoring and control the environment by applying modified electrodes to the analysis of mixtures of different natures, technological and wastewater.

Practical results of the study:

A selective and sensitive method for stripping-voltammetric determination of Pb(II) and Cd ions, up to $0.4 \cdot 10^{-9}$ g/dm³ and up to $1.0 \cdot 10^{-9}$ g/dm³ of these metals, respectively, using electrochemical sensors based on graphite modified with sulforacen and cation, has been developed;

The developed method for stripping-voltammetric determination of Pb(II) and Cd ions has been applied to the analysis and monitoring of toxic metals in industrial wastewater and natural waters and soils. It has been proven that Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Cr³⁺, Al³⁺ ions do not interfere with stripping-voltammetric determination of Pb(II) and Cd ions from wastewater;

The developed inversion voltammetric method is recommended as a basis for addressing environmental problems, as it enables the detection of Pb(II) and Cd ions in soil, natural waters, and wastewater at concentrations below the permissible limits.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, A list of literature and an appendix. The volume of the dissertation was 116 Pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI

Список опубликованных работ

List of published works

I бўлим (I часть; I part)

1. Ахмаджонов У.Ф., Зияев Д.А., Набиев А.А., Алиева Т.И., Гаджиева С.Р., Сманова З.А. Изучение условий определения свинца в природных водах методом инверсионной вольтамперометрии // Вестник Бакинского университета, серия естественных наук. 2023, № 1, С.122-140. (ISSN:2776-0979, SJIF (2022):5.949, Impact Factor (2022):7.565).
2. Ashirov M.A., Axmadjonov U.G., Yusupova M.R, Smanova Z.A, Khabiyev A.O., Berdimurodov E.T. Sulfarsazen-immobilized PPA Matrix as a New Efficient Analytical Reagent for mercury(II) Determination. // Anal. Bioanal. Chem. Res., 2023.Vol. 10, No. 2, P.135-148, April (Scopus Q1, IF=3,8).
3. Ахмаджонов У.Г., Сайфиев М.Н., Атакулова Н., Зияев Д.А. Модифицированные угольно-пастовые электроды для определения ионов сурьмы // Узбекский химический журнал. Ташкент. 2021. № 2. С. 77-84. (02.00.00. № 6).
4. Usmanova K., Bobojonov K., Smanova Z., Abdullayeva M., Tojiboyeva F., Atamuratova M., Akhmadjonov U., Gafurov A. Priority toxic metals arsenic, cadmium, mercury, and lead in ecosystems: a review of sources, toxicity, and regulatory approaches. Chemical Review and Letters, 8, 883–902. <https://doi.org/10.22034/crl.2025.526745.1616>. (Q3, IF 2,3, CiteScore 3,5).
5. Атакулова Н.А., Зияев Д.А., Сайфиев М.Н., Ахмаджонов У.Ф. Инверсионное вольтамперометрическое определение меди(II) и цинка с применением графитсодержащих электродов, модифицированных ЭДТА // Узбекский химический журнал. Ташкент. 2021.№.5. С. 71-76. (02.00.00. № 6).
6. Зияев Д.А., Атакулова Н., Сайфиев М.Н., Ахмаджонов У.Г., Боқиев Қ.С. Угольно-пастовые электроды, модифицированные различными органическими реагентами // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн., 2021. №10(88). С.62-65. (02.00.00 №2)

II bo'lim (II часть; II part)

7. Smanova Z., Normatov B., Ahmadjonov U., Rakhimov S., Shodmonov B., Berdimurodov E., Eliboev I. Sorption-spectrophotometric determination of bismuth ion (III) using immobilised xylenol orange on modified polyacrylonitrile //International Journal of Environmental Analytical Chemistry <https://doi.org/10.1080/03067319.2024.2405067> (Scopus Q1, IF 2,5, CiteScore 7.4).

8. Сманова З.А., Исакулов Ф.Б., Рахимов С.Б., Мадатов У.А.Ахмаджонов У.Ф., Каолинни оқартириш усули // Патент № FAP 02239. 28.02.2023.
9. Sayfiyev M.N., Ashirqulova G., Boqiyev Q.S., Axmadjonov U. G'., Ziyayev D.A. Inversion-voltamperometrik usulni tuproq tarkibidan rux ionini aniqlashda ahamiyati // Oziq-ovqat xavfsizligi: global va milliy muammolar V xalqaro miqyosidagi ilmiy-amaliy anjuman ilmiy ishlari to'plami. Samarqand, 2023. 13-14-oktyabr. B. 270-272.
10. Yaxshiyeva Z.Z., Axmadjonova Y.T., Axmadjonov U.G., Sagdullayeva L. B. Suvda og'ir metallarni rentgen-fluorescent aniqlash /Патент № FAP 02104 12.09.2022.
11. Сайфиев М.Н., Зияев Д.А., Мамажанов М.М., Ахмаджонов У.Ф. Тупрок таркибидан рux ионини аниқлашда инверсион-вольтамперометрик усулнинг аҳамияти // “Кимё-технология фанларининг долзарб муаммолари” мавзусидаги халқаро олимлар иштирокидаги Республика илмий-амалий анжумани. Тошкент, 2021. С. 545-546.
12. Атакулова Н.А., Зияев Д.А., Сайфиев М.Н., Ахмаджонов У.Г., Қахҳорова М.А. Метрологические характеристики метода ICP-ARCOS при определении селена и теллура в цинковом электролите // «Вопросы инновационного развития науки, образования и техники» Международная научно-практическая онлайн конференция. Андижон, 2022. 12 апрель. С. 330-334.
13. Sayfiyev M., Boqiyev Q., Axmadjonov U., Abduqahhorova M., Ziyayev D. Inversion-Voltamperometrics in Determination of Copper Ions from Soil Importance of the Method // article Information AIP Conf. Proc. 2432, 050044 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0090655> (Scopus).

Avtoreferat “Kimyo va kimyo texnologiyasi jurnali” tahririyatida tahrir qilindi



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 28.11.2025.
Bichimi: 60x84 ^{1/16} «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i 2,6. Adadi 100. Buyurtma: № 195
Tel: (99) 832 99 79; (77) 300 99 09
Guvohnoma reestr № 10-3279
“IMPRESS MEDIA” MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko'chasi, 6-uy.