ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

D378 ASOSIDA MODIFIKATSIYALANGAN GRAFIT PASTALI ELEKTRODNING ELEKTROKIMYOVIY XOSSALARI VA AU(III) IONINI VOLTAMPEROMETRIK ANIQLASHGA QO‘LLANILISHI

D.O‘. Axmadova
O‘zbekiston Milliy universiteti, III bosqich tayanch doktoranti
E-mail: axmadova_d@nuu.uz
N.X. Qutlimurotova
O‘zbekiston Milliy universiteti analitik kimyo kafedrasi professori
E-mail: nigora.qutlimurotova@mail.ru
A.L. Dadomatov
O‘zbekiston Milliy universiteti, PhD
D.S. Ismailova
O‘simlik moddalar kimyosi instituti, PhD

Annotatsiya. Mazkur ishda Au(III) ionlarini aniqlash uchun D378 (4-amino-5-(2-aminofenil)-2,4-digidro-3H-1,2,4-triazol-3-tion) asosida modifikatsiyalangan grafit pastali elektrod tayyorlandi.Uning elektrokimyoviy xossalari CV va EIS usullari yordamida o‘rganildi.EIS tahlil natijalariga ko‘ra, modifikatsiya natijasida zaryad uzatish qarshiligi 5700 Ω·cm² dan 2700 Ω·cm² gacha kamaydi. Bu jarayonning diffuzion nazorat ostida kechishini ko‘rsatadi. Diffuziya koeffitsiyenti $D=1.01\times10^{-6}$ cm²/s aniqlanib, ionlarning elektrod yuzasiga samarali tashilishi tasdiqlandi. Natijada MGE Au(III) ionlarini aniqlashda yuqori sezgirlik va ishonchlilikni ta’minlashi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: Au(III) ionlari, voltamperometriya, elektroximiyaviy impedans spektroskopiyasi, modifikatsiyalangan grafit pastali elektrod.

Abstract. In this study, a graphite paste electrode modified with D378 (4-amino-5-(2-aminophenyl)-2,4-dihydro-3H-1,2,4-triazole-3-thione) was prepared for the determination of Au(III) ions. Its electrochemical properties were investigated using CV and EIS. According to EIS results, the charge transfer resistance decreased from 5700 Ω·cm² to 2700 Ω·cm² after modification. This indicates that the process is controlled by diffusion. The diffusion coefficient was calculated as $D=1.01\times10^{-6}$ cm²/s confirming efficient mass transport of ions to the electrode surface. As a result, MGE provides high sensitivity and reliability for the determination of Au(III) ions.

Keywords: Au(III) ions, voltammetry, electrochemical impedance spectroscopy, modified graphite paste electrode

Аннотация. В данной работе был изготовлен графитовый пастовый электрод, модифицированный реагентом D378 (4-амино-5-(2-аминофенил)-2,4-дигидро-3H-1,2,4-триазол-3-тион), для определения ионов Au(III). Его

ISSN 3030-3907

электрохимические свойства исследованы методами ЦВ и ЭИС. Согласно результатам ЭИС, после модификации сопротивление переноса заряда снизилось с 5700 до 2700 Ом·см². Это указывает на диффузионный характер протекания процесса. Коэффициент диффузии составил $D=1.01\times10^{-6}$ см²/с, что подтверждает эффективный массоперенос ионов к поверхности электрода. В результате установлено, что МГЭ обеспечивает высокую чувствительность и надёжность при определении ионов Au(III).

Ключевые слова: ионы Au(III), вольтамперометрия, электрохимическая импедансная спектроскопия, модифицированный графитовый пастовый электрод

KIRISH.

So‘nggi yillarda og‘ir, rangli va qimmatbaho metallar, xususan, Cu, Pb, Zn, Ag va Au metallar sanoat va texnologik jarayonlarda keng qo‘llaniladi hamda natijada ishlab chiqarish chiqindilari, tabiiy suvlar va texnologik eritmalar bilan atrof muhitga tarqaladi. Ushbu elementlarning ayrimlari (xususan Pb) toksik bo‘lib, hatto past konsentratsiyalarda ham biologik tizimlarga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu bilan birga, Au va Ag kabi metallar iqtisodiy jihatdan qimmatli hisoblanadi. Shuning uchun ularni aniqlash nafaqat ekologik nazorat, balki resurslarni qayta tiklash nuqtai nazaridan ham muhimdir.

Metall ionlarini aniqlashda keng qo‘llaniladigan instrumental usullar — atom-absorbsiya spektroskopiyasi, induktiv bog‘langan plazmali spektrometriya va boshqa spektral metodlar — yuqori aniqlik berishiga qaramay, murakkab asbob-uskunalar va katta xarajat talab qiladi. Bunga nisbatan elektrokimyoviy usullar, ayniqsa voltamperometriya, arzonligi, ekspress tahlil va past aniqlash chegarasi bilan ajralib turadi.

Voltamperometrik analiz metall ionlarining elektrod yuzasida sodir bo‘ladigan oksidlanish-qaytarilish jarayonlariga asoslanadi. Siklik voltammetriya elektrokimyoviy jarayonlarning mexanizmini o‘rganishda qo‘llanilsa, differensial puls va anod inversion voltammetriya usullari past konsentratsiyadagi ionlarni aniqlashda yuqori sezgirlikni ta’minlaydi. Ushbu yondashuvlar yordamida bir nechta metall ionlarini bir vaqtning o‘zida aniqlash imkoniyati ham mavjud.

So‘nggi tadqiqotlarda voltamperometrik usullarning samaradorligini oshirish maqsadida elektrod yuzasini modifikatsiyalashga katta e’tibor qaratilmoqda. Grafit, shisha uglerod va uglerod pastasi asosidagi elektrodlar turli organik reagentlar, nanomateriallar va metall zarrachalar bilan modifikatsiyalab, ularning sezgirligi va selektivligi oshirilmoqda. Bunday modifikatsiyalar metall ionlarining elektrod yuzasida to‘planishini kuchaytiradi va analitik signalni barqarorlashtiradi.

ISSN 3030-3907

Adabiyotlarda Cu, Zn, Pb kabi ionlarni bir vaqtning o‘zida aniqlash, shuningdek Au va Ag ionlarini iz miqdorlarda aniqlash uchun voltamperometrik usullarning samarali qo‘llanilishi ko‘rsatilgan. Bundan tashqari, Bi asosidagi elektrodlar metall ionlarini aniqlashda alternativ variant sifatida taklif etilmoqda. Tadqiqotlarda olingan natijalar voltamperometriyaning ekologik, sanoat va analitik nazorat tizimlarida qo‘llash imkoniyatlari keng ekanini tasdiqlaydi [1]. Biroq, ushbu usullarning analitik samaradorligi asosan ishchi elektrod yuzasining fizik-kimyoviy xossalariga bog‘liq bo‘lib, an’anaviy elektrodlar ko‘pincha past sezgirlik va yetarli selektivlikni ta’minlay olmaydi. Bu esa murakkab matritsali real namunalarni tahlil qilishda muammolar tug‘diradi. Elektrod yuzasini modifikatsiyalash orqali uning elektroaktivligini oshirish, elektron uzatish kinetikasini tezlashtirish va selektivlikni yaxshilashga qaratilgan tadqiqotlar jadal rivojlanmoqda. Xususan, nanomateriallar [2], o‘tkazuvchi polimerlar [3] va funksional organik ligandlar: o-Nitrozofenol [4], trapeolin00 [5], 5-(o-aminofenil)-1,3,4-oksadiazol-2-tion [6], 5-(4-Aminofenil)-1,3,4-Oksadiazol-2-thiol [7] asosidagi modifikatsiyalangan elektrodlar yuqori elektrokimyoviy faollik namoyon etib, past aniqlash chegarasiga erishish imkonini bergan. Ayniqsa, tarkibida azot va oltingugurt donor atomlari mavjud bo‘lgan geterotsiklik birikmalar (masalan, triazol hosilalari) metall ionlari bilan kuchli kompleks hosil qilish qobiliyatiga ega bo‘lib, selektiv elektrokimyoviy sensorlar yaratishda muhim rol o‘ynaydi. Bunday modifikatorlar elektrod yuzasida faol markazlar sonini oshiradi, zaryad uzatish qarshiligini kamaytiradi va analitik signalning kuchayishiga olib keladi.

Modifikatsiyalangan elektrodlar asosida elektrokimyoviy analizda turli voltamperometrik usullar keng qo‘llaniladi. Xususan, siklik voltamperometriya (CV) elektrod yuzasida kechadigan elektron almashinuvi jarayonlarini o‘rganish uchun, differensial puls voltamperometriya (DPV) yuqori sezgir aniqlash uchun, anod stripping voltammetriya (ASV) esa metall ionlarini iz miqdorida aniqlash uchun samarali usul hisoblanadi. Adabiyotlarda Cu asosidagi MOF bilan modifikatsiyalangan elektrodlarda CV va DPV usullari yordamida yuqori sezgirlikka erishilganligi ko‘rsatilgan [8], shuningdek, polimer modifikatsiyalangan elektrodlar yordamida metall ionlari SWASV usuli orqali past aniqlash chegarasida aniqlangan [9].

Shu bilan birga, zamonaviy tadqiqotlarda elektrod materiallari sifatida grafit pasta elektrodlari (GPE) keng qo‘llanilib, ularning oson tayyorlanishi, sirtining yangilanib turishi va turli modifikatorlar bilan kombinatsiyalash imkoniyati ularni analitik maqsadlar uchun istiqbolli qiladi. GPE asosidagi modifikatsiyalangan tizimlar og‘ir metall ionlarini aniqlashda yuqori sezgirlik va takrorlanuvchan natijalarni ta’minlashi bilan ajralib turadi.

ISSN 3030-3907

Mazkur ishda funksional organik modifikator bilan modifikatsiyalangan grafit pastali elektrodi tayyorlanib, uning elektrokimyoviy xossalari voltamperometrik va impedans usullari yordamida batafsil o‘rganildi. Elektrod yuzasining modifikatsiyasi natijasida elektron uzatish kinetikasiga va elektrokimyoviy faollikka ta’siri baholandi. Tadqiqot natijalari modifikatsiyalangan elektrodning yuqori sezgirlik, past zaryad uzatish qarshiligi va yaxshilangan analitik xossalarga ega ekanini ko‘rsatadi hamda uni og‘ir metall ionlarini aniqlashda qo‘llash uchun istiqbolli platforma sifatida tavsiya etishga asos beradi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqot jarayonida metall ionlarini aniqlash va elektrod yuzasida kechadigan elektrokimyoviy jarayonlarni baholash uchun siklik voltamperometriya (CV) hamda elektroximiyaviy impedans spektroskopiyasi (EIS) usullaridan foydalanildi. Barcha o‘lchovlar Corrtest CS100 potensiostat/galvanostat qurilmasi yordamida uch elektrodli tizimda amalga oshirildi.

Elektrokimyoviy yacheykada ishchi elektrod sifatida modifikatsiyalangan grafit pastali elektrod qo‘llanildi, yordamchi elektrod sifatida shisha uglerod elektrod (GCE), solishtirma elektrod sifatida esa Ag/AgCl (1 M KCl) elektrodi ishlatildi. Ushbu elektrodlar kombinatsiyasi elektrokimyoviy tizimda barqaror potensialni ta’minlash va o‘lchovlarning takrorlanuvchanligini oshirish imkonini beradi.

Siklik voltamperometriya o‘lchovlari ma’lum potensial oralig‘ida turli skanerlash tezliklarida amalga oshirildi. Ushbu usul yordamida metall ionlarining oksidlanish-qaytarilish jarayonlari, pik potensiallari va tok qiymatlari aniqlandi. Skanerlash tezligining o‘zgarishi orqali jarayonning diffuzion yoki kinetik nazorat ostida kechishi baholandi.

Elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi (EIS) tadqiqotlari elektrod yuzasidagi zaryad uzatish qarshiligi va interfeys xossalarini aniqlash maqsadida bajarildi. O‘lchovlar kichik amplitudali AC signal berilgan holda keng chastota diapazonida olib borildi. Olingan Nyquist diagrammalari asosida eritmaning qarshiligi (Rs), zaryad uzatish qarshiligi (Rct) va sig‘imiy elementlar tahlil qilindi.

Tahlillar davomida eritma tarkibi, fon elektrolit, konsentratsiya va boshqa muhim parametrlar qat’iy nazorat qilindi. Barcha tajribalar bir necha marta takrorlanib, olingan natijalarning ishonchliligi va takrorlanuvchanligi ta’minlandi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Modifikatsiyalangan grafit pastali elektrodni tayyorlash. Tadqiqotda ishchi elektrodni tayyorlash uchun 4-amino-5-(2-aminofenil)-2,4-digidro-3h-1,2,4-

ISSN 3030-3907

triazol-3-tion (D378) asosidagi organik modifikator qo‘llanildi. Elektrod geometrik parametrlari sifatida diametri 6 mm, uzunligi 60 mm qilib tayyorlandi. Elektrod materialining optimal tarkibini aniqlash maqsadida uning komponentlari turli massa nisbatlarda tayyorlanib, har bir variantning elektr o‘tkazuvchanligi va elektrokimyoviy xossalari alohida baholandi.

1-Jadval

Turli miqdorda modifikator saqlagan elektrodlarning sinov natijalari

Modifikator massasi g.	Elektrod pastasi komponentlari massasi g.		Elektro‘tkazuv-chanlik, χ ,$1\cdot10^6$, См	To‘lqin balandligi, h Mm
	Polistirol	Grafit		
0,1	0,5	1,5	81	68
0,09	0,6	1,0	77	65
0,07	0,7	0,9	60	25
0,05	0,8	0,7	41	16
0,03	0,9	0.5	32	15
0,01	1	0.3	10	7

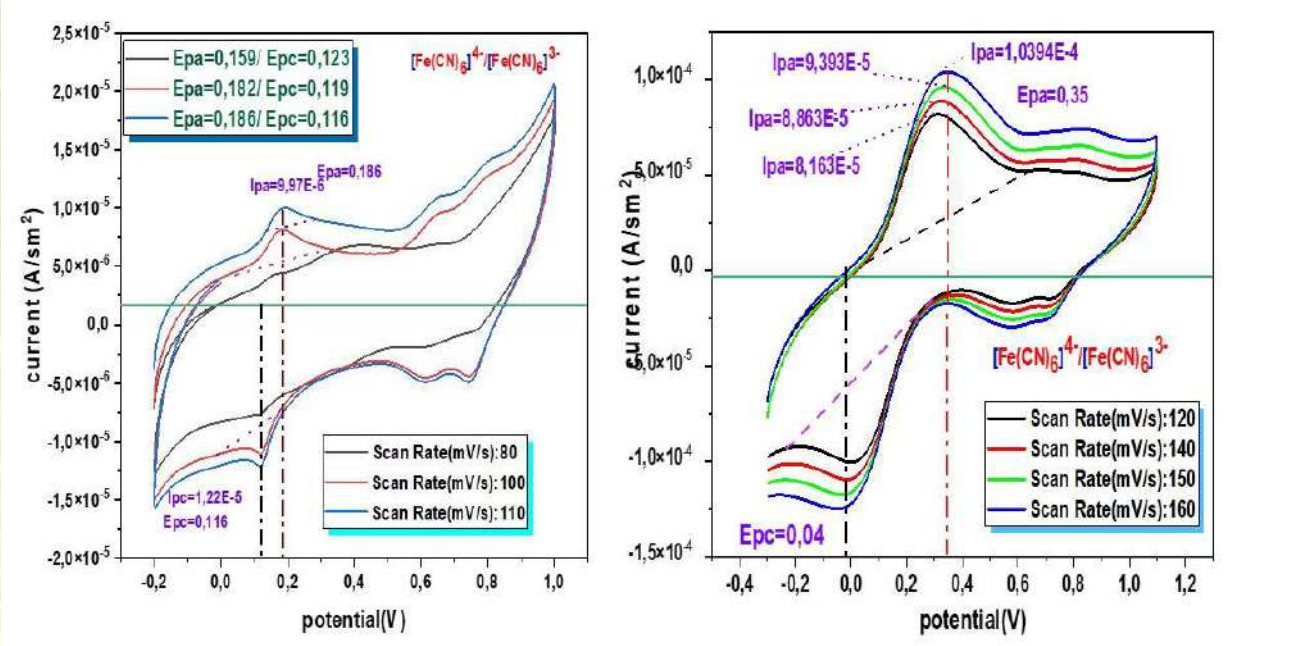
O‘tkazilgan tajribalar shuni ko‘rsatdiki, polimer bog‘lovchi, o‘tkazuvchi faza va faol modifikatorning muvozanatli nisbatda bo‘lishi elektrodning umumiy xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Xususan, polistirol, grafit va D378 reagenti mos ravishda 0,5:1,5:0,1 g nisbatda olingan holatda elektrod eng yuqori o‘tkazuvchanlikni namoyon etdi. Bu holat grafitning asosiy tok o‘tkazuvchi matritsa sifatidagi roli hamda organik modifikatorning sirt faol markazlarini hosil qilishi bilan izohlanadi. Elektrodni tayyorlash jarayonida dastlab polistirol asetonda eritilib, bir jinsli eritma hosil qilindi. Keyinchalik ushbu eritmaga grafit kukuni va D378 reagenti qo‘shilib, mexanik aralashtirish orqali bir xil kompozitsion massa olindi. Hosil bo‘lgan pasta oldindan kimyoviy tozalashdan o‘tkazilgan (konsentrlangan HNO_3 bilan ishlov berilgan) mis sim joylashtirilgan maxsus dielektrik naychaga joylashtirildi, bu esa elektrodning ichki elektr kontaktini ta’minladi.

Shundan so‘ng tayyorlangan elektrod ultratovushli vannada tozalash orqali yuzasidagi noorganik va organik iflosliklardan xalos qilindi. Quritish bosqichidan keyin elektrod yuzasi stabil holatga keltirilib, keyingi elektrokimyoviy o‘lchovlar uchun tayyorlandi. Ushbu yondashuv modifikatsiyalangan elektrodning barqarorligi, takrorlanuvchanligi va yuqori elektroaktivligini ta’minlashga xizmat qiladi.

Modifikatsiyalangan grafit elektrodning siklik voltamperometrik analizi. Modifikatsiyalangan va modifikatsiyalanmagan grafit pastali elektrodlar

ISSN 3030-3907

yuzasining elektrokimyoviy xossalari 5 mM $[Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ redoks jufti va 0,1 M KCl dan iborat elektrolit eritmasida siklik votamperometrik tahlil qilindi.



1-Rasm MGE uchun $[Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ redoks juft yordamida kalibrlash grafigi

Siklik voltamperogrammalar turli skanerlash tezliklarida (90–160 mV/s) qayd etilib, skan tezligi ortishi bilan anod (Ipa) va katod (Ipc) pik toklarining muntazam oshishi kuzatildi. Bu bog‘liqlik tok qiymatlarining skan tezligining kvadrat ildiziga proporsionalligi bilan izohlanib, elektrokimyoviy jarayonning asosan diffuziya nazorati ostida kechayotganini ko‘rsatadi.

2-Jadval.

Siklik voltamperometriya tahlili orqali $[Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ redoks jufti uchun olingan voltamperometrik parametrlar

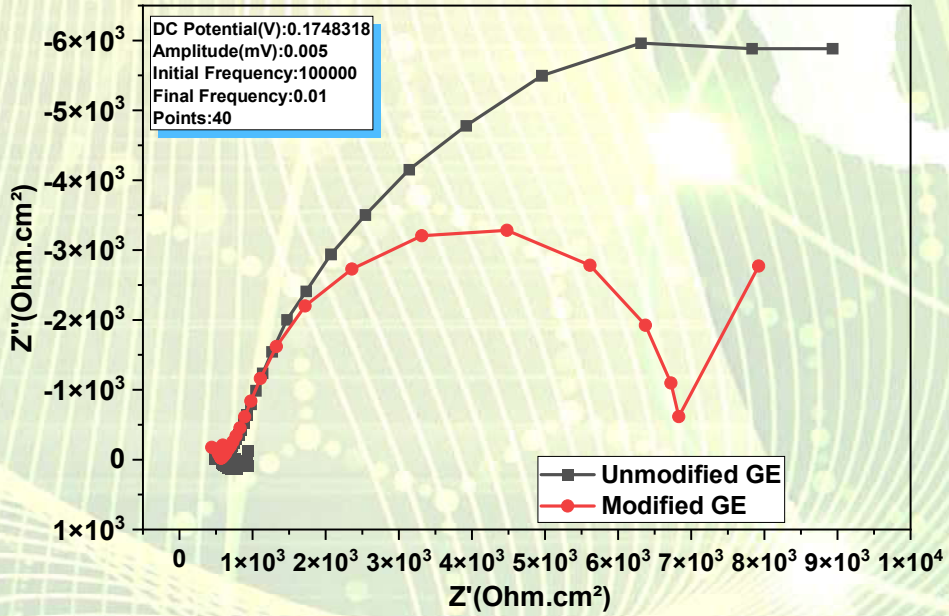
Redox juft	Skanelash tezligi (mV/s)	Modifikator	Epa (V)	Epc (V)	ΔEp (V)	$E_{1/2}$ (V)	A sm^2
$Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ (0.10MKCl)	90	D378	0.159	0.123	0.036	0.141	0.02067
	100		0.182	0.119	0.063	0.150	0.03444
	110		0.186	0.116	0.07	0.151	0.04048
	120		0.312	-0.005	0.307	0.158	0.3191
	140		0.328	-0.006	0.322	0.167	0.3192
	150		0.334	-0.035	0.299	0.185	0.3327

ISSN 3030-3907

	160		0.350	-0.040	0.310	0.0195	0.3505

$Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ redoks juft uchun MGE yordamida olingan CV analiz natijalariga ko‘ra, 90-100-110 mV/s skenerlash tezligi oralig‘ida anod va katod pik toklari bir-biriga yaqin qiymatlarga ega bo‘lib, ΔEp qiymatlari mos ravishda 36-63-70 mV ga teng. 100-110 mV/s da 59/n mV ga yaqin qiymatlarga ega ekanligi, elektron almashinuv tez va qaytar amalga oshayotganini ko‘rsatadi. Biroq, 120mV/s va undan yuqori tezliklarda ΔEp qiymati keskin oshishi elektron almashinish sustlashuvi jarayonning yarim qaytar tus olishidan dalolat beradi. Shunga qaramay, pik toklarining yuqoriligi va redoks-signallarning simmetrikligi elektrod yuzasining samarali elektroaktiv maydoni kengayganligi va modifikatsiya elektrodning sezuvchanligini oshirganini ko‘rsatadi.

MGE ning EIS analizi. Elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi (EIS) tahlili modifikatsiyalangan grafit elektrodning elektrod–eritma chegarasida elektron almashinuvi xususiyatlarini o‘rganish, zaryad uzatish qarshiligini (Rct) aniqlash hamda sirt modifikatsiyasining elektrokimyoviy jarayonlarga ta’sirini baholash maqsadida amalga oshirildi. Ushbu usul modifikatsiya jarayonining samaradorligini tasdiqlash uchun ishonchli vosita hisoblanadi. EIS o‘lchovlari ochiq zanjir potensialiga (OCP) nisbatan 0,175 V doimiy potensialda, 0,005 mV amplitudada, boshlang‘ich chastotasi 100 000 Hz va yakuniy chastotasi 0,01 Hz bo‘lgan sharoitda o‘tkazildi. Tahlillar 5 mM $[Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ redoks jufti va 0,1 M KCl dan iborat elektrolit eritmasida bajarildi.



Rasm 2. Modifikatsiyalangan grafit pasta elektrodi (qizil) va modifikatsiyalanmagan grafit pasta elektrodi (qora) uchun Nyquist diagrammalari 5.0 mM $[Fe(CN)_6]^{4-}/[Fe(CN)_6]^{3-}$ va 0.10 M KCl eritmasida ochiq zanjir potensialida qayd etilgan.

ISSN 3030-3907

Elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi yordamida modifikatsiyalangan va modifikatsiyalanmagan grafit elektrodlarning interfaol xossalari baholandi. Nyquist diagrammalaridan ko‘rinishicha, modifikatsiyalanmagan elektrodda yarim doira diametri kattaroq bo‘lib, bu zaryad uzatish qarshiligi yuqori ekanini ko‘rsatadi. Modifikatsiyalangan elektrodda esa yarim doira diametrining sezilarli kamayishi elektron almashinuvi jarayonining yengillashganini bildiradi. Nyquist ma’lumotlari asosida baholash natijasida modifikatsiyalanmagan elektrod uchun **Rs ≈ 940 Ω·cm²** va **Rct ≈ 5700 Ω·cm²**, modifikatsiyalangan elektrod uchun esa **Rs ≈ 440 Ω·cm²** va **Rct ≈ 2700 Ω·cm²** ekani aniqlandi. Shunday qilib, modifikatsiya natijasida zaryad uzatish qarshiligi taxminan **52.6% ga kamaygan**.

3-Jadval

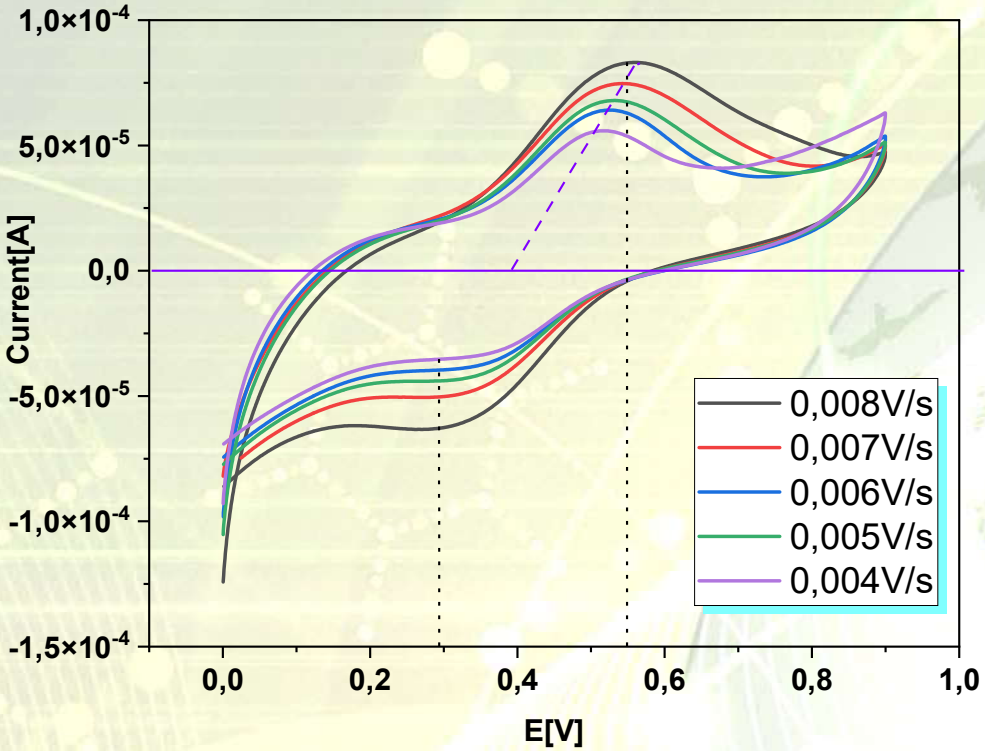
Elektrodlarning EIS parametrlari.

Elektrod	Rs (Ω·cm²)	Rct (Ω·cm²)	Rct o‘zgarishi (%)	Izoh
Modifikatsiyalanmagan GE	≈940	≈5700	-	Elektron almashinuvi sust
Modifikatsiyalangan GE	≈440	≈2700	≈52.6% kamaygan	Elektron almashinuvi tezlashgan

Mazkur natijalar modifikatorning elektrod yuzasida faol markazlar sonini oshirishi, elektr o‘tkazuvchanlikni yaxshilashi va elektron almashinuvi kinetikasini jadallashtirishi bilan izohlanadi. Past chastota sohasida kuzatilgan impedans xatti-harakatlari modifikatsiyalangan elektrodda massa tashish jarayonlarining yanada samarali kechayotganini ko‘rsatadi. Umuman olganda, olingan natijalar modifikatsiyalangan grafit elektrodning yuqori elektrokimyoviy faollikka ega ekanini tasdiqlaydi.

Au(III) ionlarining siklik voltamperometrik tahlili. Tayyorlangan MG elektrodni Au(III) ionlarini eritma tarkibidan siklik voltamperometrik usulda aniqlash uchun qo‘llanildi. Tadqiqot uchun 30ml li elektrokimyoviy yacheykada 0.02 mmol/l Au^{3+} ionlari, 2ml fon elektrolit (0.1N H_2SO_4) tutgan 25ml ishchi eritma tayyorlandi. Eritma xona haroratida (24˚C) 3 elektrodli sistemada analiz qilindi.

ISSN 3030-3907



3-Rasm. Au(III) ionlarini D378 bilan modifikatsiyalangan GE yordamida siklik voltamperometrik analizi voltamperogrammalari.

SV	Skanerlash tezligi	Ipa	Ipc	Epa	Epc	ΔE	$D_{o'r}$ sm^2/s
	0.008	8.5×10^{-5}	-6.5×10^{-5}	0.55	0.28	0.27	1.01×10^{-6}
	0.007	7.5×10^{-5}	-5.5×10^{-5}	0.54	0.29	0.25	
	0.006	6.5×10^{-5}	-5.0×10^{-5}	0.53	0.30	0.23	
	0.005	6.0×10^{-5}	-4.8×10^{-5}	0.52	0.30	0.22	
	0.004	5.5×10^{-5}	-4.5×10^{-5}	0.51	0.31	0.2	

Turli skanerlash tezliklarida (0,004–0,008 V/s) olingan siklik voltamperogrammalar elektrokimyoviy jarayonning xususiyatlarini baholash imkonini berdi. Skanerlash tezligi oshishi bilan anod pik toki (Ipa) va katod pik toki (Ipc) qiymatlarining ortishi kuzatildi. Ipa ning skanerlash tezligining kvadrat ildiziga proporsional ravishda o‘zgarishi jarayonning diffuzion nazorat ostida kechayotganini ko‘rsatadi.

Voltamperogrammalarda anod pik potensiali (Epa) 0,51–0,55 V, katod pik potensiali (Epc) esa 0,28–0,31 V oralig‘ida qayd etildi. Pik potensiallari orasidagi farq ($\Delta Ep \approx 0,20–0,27$ V) ning katta qiymatga ega bo‘lishi tizimning kvaziqaytar xarakterini bildiradi. Skanerlash tezligi ortishi bilan Epa ning musbat tomonga, Epc ning esa manfiy tomonga siljishi elektron almashinuvi kinetikasining cheklanganligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Rendles–Sevcik tenglamasi asosida hisoblangan diffuziya koeffitsiyentlari 9.14×10^{-6} dan 1.17×10^{-5} cm^2/s oralig‘ida bo‘lib, o‘rtacha qiymati 1.01×10^{-4} cm^2/s ni tashkil etdi. Diffuziya koeffitsiyentining skanerlash tezligi oshishi bilan ortib borishi ionlarning elektrod yuzasiga faol transport qilinishini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, yuqori tezliklarda qiymatlarning deyarli barqarorlashuvi massani tashish va elektrokimyoviy reaksiya tezligi o‘rtasida muvozanat o‘rnatilishini bildiradi.

Shunday qilib, olingan natijalar tahlili elektrokimyoviy jarayonning asosan diffuzion nazorat ostida kechishini, biroq elektron almashinuvi kinetikasi ham muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi. Ushbu holat tizimning kvaziqaytar xususiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi hamda voltamperometrik usulning metall ionlarini aniqlashda qo‘llash imkoniyatlarini asoslaydi.

XULOSA.

Tadqiqot natijalari D378 asosida modifikatsiyalangan grafit pastali elektrodning elektrokimyoviy xossalari sezilarli darajada yaxshilanganini ko‘rsatdi. Xususan, zaryad uzatish qarshiligining 5700 $\Omega\cdot cm^2$ dan 2700 $\Omega\cdot cm^2$ gacha kamayishi elektrod–eritma chegarasida elektron almashinuvi jarayonlari jadallashganini tasdiqlaydi.

Siklik voltamperometriya natijalariga ko‘ra, pik toklarining skanerlash tezligining kvadrat ildiziga bog‘liqligi jarayonning diffuzion nazorat ostida kechishini ko‘rsatdi. Hisoblangan diffuziya koeffitsiyenti $D=1.01\times10^{-6}$ cm^2/s bo‘lib, ionlarning elektrod yuzasiga samarali tashilishini ko‘rsatadi. Ushbu natijalar modifikatsiya elektrod yuzasining elektroaktivligini oshirish bilan birga analitik signalning barqarorligini ham ta’minlashini ko‘rsatadi.

Shunday qilib, modifikatsiyalangan grafit pastali elektrod Au(III) ionlarini aniqlashda yuqori sezgirlik va yaxshilangan elektrokimyoviy xossalarga ega bo‘lib, voltamperometrik tahlil uchun samarali analitik tizim sifatida baholanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Han Q., Wang H., Wang J. Multi-mode/signal biosensors: Electrochemical integrated sensing techniques //Advanced Functional Materials. – 2024. – T. 34. – №. 39. – C. 2403122.

2. Mohamad Nor N. et al. Recent advancement in disposable electrode modified with nanomaterials for electrochemical heavy metal sensors //Critical reviews in analytical chemistry. – 2023. – T. 53. – №. 2. – C. 253-288.

3. Qin J. et al. Simultaneous electrochemical detection of zinc and copper in fruit juice using Hg/CMWCNTs ZIF-8 modified glassy carbon electrode //Microporous and Mesoporous Materials. – 2023. – T. 360. – C. 112721.

ISSN 3030-3907

4. Karabayeva G. et al. Development of a Cyclic Voltammetric Method for the Determination of Cobalt (II) Ions Using o-Nitrosophenol //International Journal of Analytical Chemistry. – 2025. – Т. 2025. – №. 1. – С. 6675527.
5. Карабаева Г.Б. и др. Инверсионно вольтамперометрическое обнаружение иона кобальта (II) модифицированным графитовым электродом //Uzbek Chemical Journal/O'zbekiston Kimyo Jurnali. – 2024. – №. 6.
6. Kuronboyev D. P. et al. Development of a method for cyclic voltametric determination of copper (II) ions in the composition of technological objects //Chemical Review and Letters. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 469-481.
7. Laylo S. et al. New and Effective Analytical Reagent of 5-(4-Aminophenyl)-1, 3, 4-Oxadiazole-2-thiol in The Determination of Copper and Lead //Analytical & Bioanalytical Electrochemistry. – 2022. – Т. 14. – №. 12.
8. Xu X. et al. Construction of electrochemical and photoelectrochemical sensing platform based on porphyrinic metal-organic frameworks for determination of ascorbic acid //Nanomaterials. – 2022. – Т. 12. – №. 3. – С. 482.
9. Lima T. M. et al. A novel electrochemical sensor for simultaneous determination of cadmium and lead using graphite electrodes modified with poly (p-coumaric acid) //Microchemical Journal. – 2021. – Т. 168. – С. 106406.

ISSN 3030-3907