

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

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

USMONOVA XURSHIDA XOLBOY QIZI

**POLIELEKTROLITLAR ORASIDA KUZATILADIGAN UZOQ
TARTIBDAGI TA’SIRLASHUVGA ASOSLANGAN INTER POLIMER
TIZIMLAR**

02.00.06 – Yuqori molekulyar birikmalar

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

Toshkent-2025

**Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Содержание автореферата диссертации на соискание ученой степени
доктора философии (PhD) по химическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on chemical
sciences**

Usmonova Xurshida Xolboy qizi

Polielektrolitlar orasida kuzatiladigan uzoq tartibdagi ta'sirlashuvga
asoslangan inter polimer tizimlar 3

Усманова Хуршида Холбой кизи.

Интерполимерные системы, основанные на дальнедействующих
взаимодействиях, наблюдаемых между полиэлектролитами
..... 21

Usmanova Khurshida Kholboy kizi

Interpolymer systems based on long-range interactions observed between
polyelectrolytes..... 41

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 44

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

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

Usmonova Xurshida Xolboy qizi

POLIELEKTROLITLAR ORASIDA KUZATILADIGAN UZOQ
TARTIBDAGI TA’SIRLASHUVGA ASOSLANGAN INTER POLIMER
TIZIMLAR

02.00.06 – Yuqori molekulyar birikmalar

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

Toshkent-2025

Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va inovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiyasi komissiyasida B2024.2.PhD/K774 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Milliy universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uchta tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.ik.-kimyo.nuu.uz) va "ZiyoNET" axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Muxamediyev Muxtarjan Ganievich
kimyo fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Rafikov Adxam Salimovich
kimyo fanlari doktori, professor

Qutlimurodov Nurbek Matkarimovich.
PhD, dotsent

Yetakchi tashkilot:

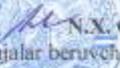
Toshkent kimyo-texnologiya instituti

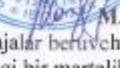
Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/30.12.2019.K.01.03 raqamli Ilmiy kengash asosidagi bir martalik Ilmiy kengashning 2025 yil « 25 » dekabr soat « 9³⁰ » dagi majlisida bo'lib o'tadi.
(Manzil: 100174, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 4-uy. Tel.: (+99871)246-07-88; faks: (+99824)246-53-21; 246-02-24, e-mail: ilmiy-kengash@nuu.uz).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Milliy universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100174, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 4-uy. Tel.:(+99871)246-67-71; 277-12-24; faks: (+99871)246-07-88; 246-02-24, e-mail: rector@nuu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil « 16 » 12 kuni tarqatildi.
(2025 yil « 18 » 12 dagi 35 raqamli reestr bayonnomasi).


Z.A. Smanova
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
asosidagi bir martalik ilmiy kengash
raisi k.f.d., professor


N.X. Qutlimurotova
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
asosidagi bir martalik ilmiy kengash
ilmiy kotibi k.f.d., professor


M.A. Maxkamov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
asosidagi bir martalik ilmiy kengash
ilmiy seminar raisi k.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda bugungi kunda sanoat korxonalarining ko‘payishi va kengayishi natijasida oqava va tabiiy suvlar tarkibida og‘ir va zaharli metal ionlarining miqdori ortib bormoqda, bu esa ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. Oqava va tabiiy suvlarni samarali tozalashda ion almashinuvchi materiallardan keng foydalaniladi. Ionitlarni regeneratsiya qilib qayta ishlatilishi, arzonligi, samaraliligi sababli, ionitlar asosida yangi texnologiyaga asoslangan ion almashinuvchi sistemalar ishlab chiqarish muhim amaliy ahamiyatga ega.

Jahonda bugungi kunda sanoat ion almashinuvchi materiallar asosida uzoq tartibli ta’sirlashuvga ega bo‘lgan inter polimer tizimlarni olinishiga, fizik-kimyoviy xossalarini yaxshilash bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu sababli inter polimer tizimlar olinishining sharoitlarini optimallashtirish, ekspluatatsion samaradorligini oshirish, og‘ir va zaharli metall ionlariga nisbatan sorbsion xossalarini oshirish hamda sanoatga tadbiriq qilish, ion almashinuvchi materiallar ishlab chiqarish muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Bugungi kunda Respublikamizda samarali ion almashinadigan materiallarga bo‘lgan talabning yuqoriligi tufayli sanoatda qo‘llaniladigan ionitlarni ishlatilish sohasini kengaytirish va amaliyotga joriy etilishi bo‘yicha bir qator ilmiy izlanishlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida¹ “Mahalliy ionitlar yordamida oqava suvlarini og‘ir va zaharli ionlaridan tozalash” ga yo‘naltirilgan muhim vazifalar belgilab berilgan. Shu maqsadda sanoat ionitlari asosida uzoq tartibdagi ta’sirlarga ega bo‘lgan inter polimer tizimlarni yaratish, olingan tizimlarni fizik-kimyoviy va sorbsion xossalarini o‘rganish hamda ularni qo‘llab sanoat oqava suvlarini sorbsion tozalash asosiy masalalardan biri hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 3 apreldagi PQ-4265-son “Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi, 2021 yil 13 fevraldagi PF-4992-son “Kimyo sanoati korxonalarini yanada isloh qilish va moliyaviy sog‘lomlashtirish, yuqori qo‘shilgan qiymatli kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi farmoni, 2021 yil 24-iyundagi PQ-5159-son “Kon-metalurgiya sanoati va unga bog‘liq sohalarni rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida” gi qarorida mis sanoat klasteri doirasida loyiha va injiniring xizmatlari, ilmiy tadqiqot ishlarini rivojlantirish ijrosini ta’minlashda, mazkur faoliyatga tegishli bo‘lgan boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilab qo‘yilgan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti natijalari muayyan darajada xizmat qiladi.

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

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 6-iyuldagi PQ-307-son qaroriga 2022 — 2026-yillarda O‘zbekiston Respublikasining innovatsion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo‘yicha tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida

rivojlanishining VII. Kimyo texnologiyalari va nanotexnologiyalar ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Jahon olimlari tomonidan sanoat va tabiiy polimerlarni modifikatsiya qilib turli hil ion almashinuvchi funksional polimer materiallar sintez qilish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Olingan ion almashinuvchi materiallarni sanoat korxonalaridan chiqayotgan oqava va texnologik eritmalaridan turli hil ionlarni ajratib olishda qo'llanilib kelinmoqda. Buning natijasida Cu^{2+} , SCN^- va ReO_4^- ionlarini samarali ajratib olish va ba'zi ekologik muamolarni oldini olishga o'z hissalarini qo'shmoqdalar. Hususan, xorij olimlaridan T. Jumadilov, V. Davankov, N. Dawra, N. Dabas, K.Z. Elwakeel, A.M. Elgarahy, Z.A. Khan, Y. Chjan Grzegorz Voycik, Violeta Neagu O.N. Kononova Fumixiko Ogata va boshqalar sanoat polimerlari va tabiiy polimerlardan olingan ionitlarga Cu^{2+} , SCN^- va ReO_4^- ionlarining sorbsiya mexanizmlarini hamda qo'llanish sohalarini o'rganishgan.

Mamlakatimizda ham ionitlar sintezi, fizik-kimyoviy xossalarini o'rganish bo'yicha O'N. Musaev, M.A. Askarov, S.Sh. Rashidova, A.T. Jalilov, S.M. Turabjonov, X.A. Akbarov., T.M. Babaev, X.T. To'rayev, O.N. Ro'zimurodov, D.A. Gafurova, D.J. Bekchanov., N.T. Kattaev, T.X. Raximov, M.M. Karimov, M.K. Rustamov va boshqa ko'plab olimlarimiz ilmiy izlanishlar olib borgan.

Yuqorida keltirilgan olimlarning ilmiy izlanishlarida, asosan tolasimon anionitlardan va ion almashinuvchi materiallar yordamida Cu^{2+} , SCN^- va ReO_4^- ionlarini sorbsiyasini o'rganish usullari keltirilgan. Lekin sanoat ionitlari va ular yordamida uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan interpolimer tizimlar olishning mexanizmlari, ushbu tizimlarga Cu^{2+} , SCN^- va ReO_4^- ionlarini sorbsiyasi, fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rganish bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Milliy universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq FZ-8323102079 "Polikomponent metal va metal oksid sistemalarda kristallfazalarning past haroratlarda struktura hosil bo'lish qonuniyatlari va ularning karbon materiallari sirtida nanotexnologiya usullari bilan qiyin eruvchan funksional materiallar sintez" (2023-2026yy.) fundamental loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi polielektrolitlar orasida kuzatiladigan uzoq tartibdagi ta'sirlashuvga asoslangan inter polimer tizimlarni olinishi va qo'llanilishini tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

sanoatda keng ko'lamda qo'llaniladigan sorbentlar asosida uzoq tartibdagi ta'sirlashuvga asoslangan yangi ion almashinuvchi sistema yaratishning maq'bul sharoitlarni aniqlash;

sanoatda qo'llaniladigan sulfokationit KU-2-8, anionit AN-31 va hosil qilingan yangi ion almashinuvchi tizimga Cu^{2+} ionlarini sorbsiya kinetikasi va izotermasini o'rganish va sorbsiya jarayonini maq'bul sharoitlarini aniqlash;

sanoatda qo'llaniladigan sulfokationit KU-2-8, anionit AN-31 va hosil qilingan yangi ion almashinuvchi tizimga SCN^- ionlarini sorbsiya kinetikasi va izotermasini o'rganish va sorbsiya jarayonini maq'bul sharoitlarini aniqlash;

o'rganilayotgan ion almashinuvchi tizimlarga Cu^{2+} va SCN^- ionlarining adsorbsiyalanish jarayonini termodinamik qiymatini aniqlash va tahlil qilish;

sanoatda qo'llaniladigan sulfokationit KU-2-8 va anionit AN-31 dan iborat yangi ion almashinuvchi tizimga ReO_4^- ionlarini sorbsiyasini o'rganish;

olingan yangi ion almashinuvchi tizimni sanoatda qo'llanilish sohalarini aniqlash.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida AN-31, KU-2-8 ionitlari, AN-31-KU-2-8 interpolimer tizim, mis sulfat, ammoniy rodanid va ammoniy perrenat tuzlari olingan.

Tadqiqotning predmeti adsorbsiya, desorbsiya, regeneratsiya, kinetika, izoterma, termodinamika, zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiq qilish usullari.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlar jarayonida zamonaviy nazariy va eksperimental tadqiqot usullari, jumladan, IQ va Raman spektroskopiya, element analiz, atom emission spektrometrik, rentgen flouresen spektroskopiya kabi eksperimental usullaridan; adsorbsiya jarayonlarini o'rganishda izotermalarni Lengmyur va Freyndlix modellari bilan taxlil qilish hamda psevdobirinchi va psevdodikkinchi tartibli kinetik modellari yordamida adsorbsiya kinetikasini ifodalash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

uzoq tartibdagi ta'sirlashuvga asoslangan inter polimer tizimning yakka holdagi ionitlarga qaraganda sorbsion hossasi yuqoriroq ekanligi aniqlangan. Buning sababi yaratilgan yangi tizimning elektr o'tkazuvchanligi yuqoriroq ekanligi, ionit tarkibidagi OH^- va kationit tarkibidagi H^+ bilan H_2O molekulalarini hosil qilishi va buning natijasida ionitlar tarkibidagi zaryadlangan guruhlar sonining ko'payishi bilan tushuntirilgan.

ionitlar va interpolimer tizimga mis kationi va rodanid anionlari adsorbsiyasining kinetikasi psevdodikkinchi tartibli kinetik modelga mos ekanligi aniqlangan, bu esa reaksiya tezligiga eritmadagi mis, rodanid ionlari konsentratsiyasidan tashqari polimer tarkibidagi funksional guruhlar konsentratsiyasi ham ta'sir etganligi bilan asoslangan;

yakka holdagi ionitlarga hamda interpolimer tizimga mis kationi va rodanid anionini adsorbsiya izotermalarining borishi barcha ion almashinuvchi tizimlar uchun Lengmyur modeliga mos kelishi aniqlangan;

funksional polimerlar asosida olingan yangi interpolimer tizimning fizik-kimyoviy xossalari va ushbu tizimga mis, rodanid ionlarini dinamik almashinuv sig'imi mis ionlari uchun $DAS=139.7$ mg/g, rodanid ionlari uchun $DAS=142.9$ mg/g ekanligi va KU-2-8-AN-31 tarkibli inter polimer sistemaga dinamik sharoitda ionlarning sorbsiya-desorbsiyasi unumi jarayon 10 marotaba qayta takrorlanganda ham 97% dan kam emasligi va ularning aniqlangan;

inter polimer tizimlardagi sorbsion jarayon anionlar uchun faqat tizim tarkibidagi anionit hisobiga, kationlar uchun sorbsion jarayon ham kationit ham anionit hisobiga borishi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

sanoat ionitlari AN-31 anioniti va KU-2-8 kationiti asosida uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan interpolimer tizim olishning maq'bul sharoitlari topilgan; uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan interpolimer tizim yordamida Cu^{2+} , SCN^- ionlaridan oqava suvlarni samarali tozalash, ReO_4^- ionlarini texnologik eritmalardan ajratib olish imkoniyati aniqlangan;

olingan interpolimer tizim yordamida "MAXAM-CHIRCHIQ" AJ dan chiqayotgan oqava suvlar tarkibidagi Cu^{2+} , SCN^- ionlarini 97% unum bilan ajratib olinishi ko'rsatilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchligi IQ spektroskopiya, spektrofotometriya, rentgen flouresent spektroskopiya, atom emission spektrometrik kabi zamonaviy usullar qo'llanishi bilan aniqlanadi. Adsorbsiya jarayonlar kinetikasi esa psevdobirinchi va psevdodikkinchi tartibli kinetik modellar yordamida tavsiflangan; adsorbsiya izotermasini esa Lengmyur va Freyndlix modellari tenglamalari bilan hisoblangan. Adsorbsiya izotermalari haqidagi zamonaviy nazariyalarda keltirilgan tenglamalar yordamida tadqiqotning amaliy qismidan olingan natijalarni qo'yib tahlil qilish orqali tegishli xulosalar chiqarilgan hamda matematik-statistik usullari bilan hisoblash orqali ko'rsatilgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati AN-31 anioniti va KU-2-8 kationitini ma'lum bir masofada ushlab va elektr o'tkazuvchanligini o'lchash orqali uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan yangi interpolimer tizimlarni olishning ilmiy asoslarini yaratishdan hamda mis, rodanid ionlarini sorbsiyasini kinetika va izotermalarni tadqiq qilish orqali interpolimer tizimlarning afzalligini ko'rsatish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalari amaliy ahamiyati AN-31 anioniti va KU-2-8 kationiti asosida olingan interpolimer tizimlar individual ionitlarga qaraganda sanoat oqava suvlari tarkibidagi zaharli mis, rodanid ionlaridan yuqori unum bilan tozalash imkoniyatiga egaligi bilan aniqlanadi. Bu esa ularni atrof-muhitni muhofaza qilishda keng ko'lamda qo'llanilishiga imkon yaratadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Sanoat ionitlari yordamida uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan yangi interpolimer tizimning fizik-kimyoviy xossalarni o'rganish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

sanoat ionitlari asosida interpolimer tizimlarga asoslangan oqava suvlarni tozalash qurilmasi yaratilgan hamda yaratilgan qurulma "MAXAM-CHIRCHIQ" AJ dan chiqayotgan oqava suvlarni Cu^{2+} ionlaridan tozalash uchun joriy qilingan ("MAXAM-CHIRCHIQ" AJ ning 2025-yil 21-maydagi № 30-2/34-son ma'lumotnomasi). Natijada kombinat chiqindi suvida mavjud bo'lgan mis ionlarining miqdori 7.8 mg/l dan 0.2 mg/l gacha kamayganligi aniqlangan;

sanoat ionitlari asosida interpolimer tizimlarga asoslangan oqava suvlarni tozalash qurilmasi yaratilgan hamda yaratilgan qurulma "MAXAM-CHIRCHIQ" AJ dan chiqayotgan oqava suvlarni SCN^- ionlaridan tozalash uchun joriy qilingan ("MAXAM-CHIRCHIQ" AJ ning 2025-yil 21-maydagi № 30-2/35-son ma'lumotnomasi). Natijada oqava suvi tarkibida rodanid ionlari konsentratsiyasi dastlabki 5 mg/l dan 0,05 mg/l gacha kamayganligi aniqlandi. Bu esa korxonadan chiqayotgan oqava suvlarni tozaligi tabiatni muhofaza qilish qo'mitasi talablariga

mos kelishini bildiradi va tashqi muhit ekologiyasiga salbiy ta'sir qilmasligiga xizmat qiladi hamda ijtimoy-iqtisodiy samara bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 10 ta, jumladan 7 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 6 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola respublika, 2 ta maqola xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyasi tarkibi kirish, uchta bob, xulosa, adabiyotlar ro'yxati, ilovadan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 104 sahifani tashkil etgan.²

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya ishining dolzarbligi, yangiligi va zarurligi ko'rsatib berilgan, tadqiqotning maqsadi, vazifalari keltirilib, ob'ekti hamda predmetlari aniqlangan. Mazkur ilmiy tadqiqot ishi respublikamizning fan va texnologiyalar rivojining ustuvor yo'nalishlariga to'g'ri kelishi ko'rsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi, amaliy natijalari to'liq ochib berilgan hamda olingan natijalarning ishonchliligi isbotlangan. Erishilgan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati keng qamrovli yoritib berilgan hamda olib borilgan tadqiqot natijalarining amalga oshirilishi, nashr etilgan ishlar, dissertatsiyaning tuzilishi va hajmida keltirilgan.

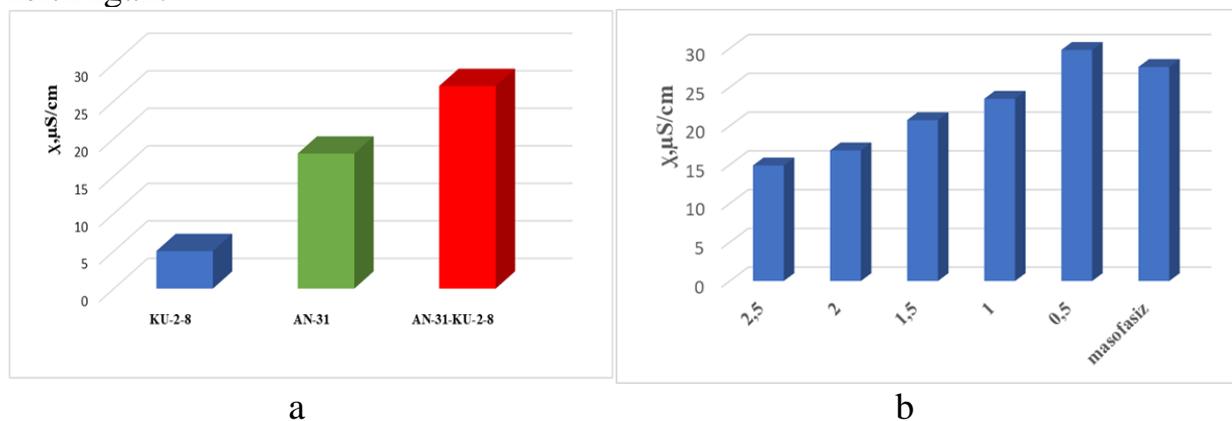
Dissertatsiyaning "**Mis (II) va rodanid ionlarining turli ion almashinuvchi sorbentlar bilan adsorbsiyasi qonuniyatlari (adabiyotlar sharhi)**" deb nomlangan birinchi bobida, sanoat korxonalarida oqava suvlari bilan birgalikda atrof muhitga chiquvchi metal ionlarini zararlari hamda zaharli mis, rodanid ionlarning o'simliklar dunyosiga, hayvonot olamiga, inson organizmiga hamda tabiatga keltiradigan salbiy tasirlari sharhlangan. Eritmalardan turli xil tabiiy, sintetik, granulalangan, tolasimon polimerlarni modifikatsiyalab olingan tarkibida funksional ionogen guruhi mavjud bo'lgan ion almashinuvchi materiallarga Cu^{2+} , SCN^- ionlarini adsorbsiyasi kinetikasi, izotermasi, adsorbsiya natijasida ionlarda kuzatiladigan fizik-kimyoviy o'zgarishlar va sanoatda qo'llanilish sohalari ko'rib chiqilgan. Jahon va respublikamiz olimlari tomonidan ishlab chiqarish korxonalarida oqava suvlari tarkibidagi mis ionlarini tozalash, texnologik eritmalardan ajratib olishda ion almashinuvchi materiallar keng ko'lamda qo'llanilishi, o'rni va ahamiyati bo'yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar ushbu bobda qiyosiy ko'rsatib o'tilgan.

Xulosada tadqiqot mavzusining dolzarbligi hamda zarurligi asoslangan, hamda adabiyotlarda keltirilgan nazariy va amaliy natijalarning tahlili asosida dissertatsiya ishining maqsadi va vazifalari belgilab olingan.

² Muallif dissertatsiya ishini bajarishda bergan ilmiy maslahatlari uchun kimyo fanlari doktori, professor D.J. Bekchanovga o'zining samimiy minnatdorligini bildiradi

Dissertatsiyaning “Sanoat ionitlari asosida yangi interpolimer tizimlarning olinishi, sorbsion va fizik-kimyoviy xossalari” deb nomlangan ikkinchi bobida, funksional polimerlar qatoriga kirgan AN-31 anioniti va KU-2-8 kationiti ishtirokida uzoq tartibli ta’sirlashuvga ega bo’lgan interpolimer tizimlarning olinish qonuniyatlari keltirilgan. Ushbu anionit va sulfokationitga hamda interpolimer tizimga mis, rodanid ionlarining adsorbsiya kinetikasi, izotermasi, termodinamikasi va ionlarning adsorbsiyasidan keyin ion almashinuvchi materiallarning fizik-kimyoviy xossalari tekshirilgan va tahlil qilingan.

Dastlab sanoat miqyosida ishlab chiqariladigan funksional polimerlar AN-31 anioniti hamda KU-2-8 kationiti yangi uzoq tartibli ta’sirlashuvga ega bo’lgan interpolimer tizimlarni olishda turli xil fizik-kimyoviy xossalari, massa nisbatlari, o’zaro bir-biriga nisbatan masofa ta’siri o’rganilgan. Sanoat ion almashinuvchi materiallari asosida olingan uzoq tartibli ta’sirga ega interpolimer tizimlar olishda ionitlar orasidagi masofaning eritmani elektr o’tkazuvchanligiga ta’siri 1- rasmda keltirilgan.

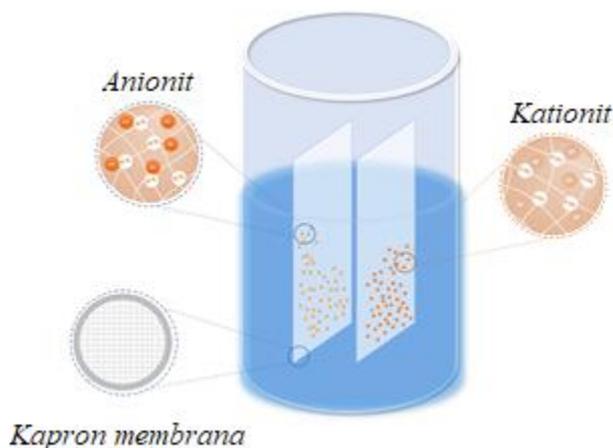


1 – Rasm. Ionitlar va interpolimer tizimlarning suvli eritmadagi elektr o’tkazuvchanligi (masofa 0.5sm) (a) hamda elektr o’tkazuvchalikni ionitlar o’rtasidagi masofaga bog’liqligi (b).

Qo’llanilayotgan ion almashinuvchi tizimlarni adsorbsiya jarayoniga tayyorlash maqsadida AN-31 anioniti (OH^- formada), KU-2-8 (H^+ formada) va bir-biriga nisbatan ma’lum masofada joylashtirilgan ushbu ion almashinuvchi materiallar asosida olingan interpolimer sistemalar 48 soat mobaynida distillangan suvda faollashtirildi. Ion almashinuvchi materiallar va ular asosida olingan interpolimer tizimlarning distillangan suvdagi elektr o’tkazuvchanligini kanduktometrik usulda o’lchash orqali aniqlash AN-31 anioniti uchun $18 \mu\text{S}/\text{sm}$, KU-2-8 kationiti uchun $5.2 \mu\text{S}/\text{sm}$ hamda ular asosida olingan interpolimer tizim solingan distillangan suvning elektr o’tkazuvchanligi esa $26.05 \mu\text{S}/\text{sm}$ tashkil qildi. Olingan natijalar va adabiyotlar sharxida berilgan xulosalar o’rganilayotgan jarayoning mexanizmini taklif qilish imkonini berdi. Ya’ni interpolimer tizimlar tarkibidagi kationitdagi H^+ va anionitdagi OH^- ionlari o’zaro ta’sirlashib suv molekulasini hosil qiladi natijada AN-31 anioniti tarkibidagi turli hil amin guruhlaridagi musbat zaryadlar miqdori hamda KU-2-8 kationitning sulfon guruhlaridagi manfiy zaryadlar miqdori ionlanish darajasi ortishi hisobiga ko’payib boradi. Bu esa ushbu anionit va kationitlarning adsorsion qobiliyati ortib borishiga olib keladi.

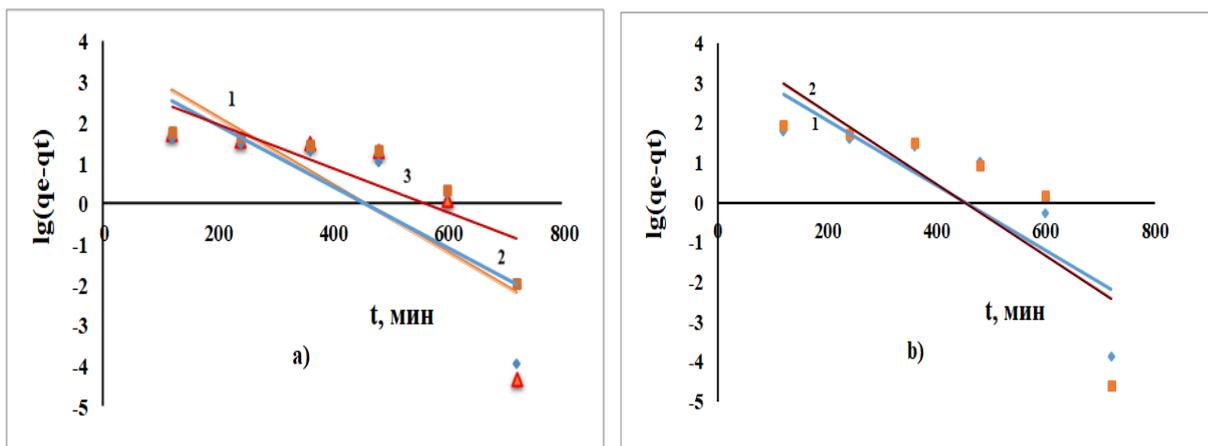
Uzoq tartibdagi ta'sirga asoslangan tizimlarda ion almashinuvchilar bir-biriga to'g'ridan to'g'ri bog'lanmasdan, masofaviy o'zaro ta'sir qiladi. Bu ionitlarning turli hil ionlarga nisbatan selektivligini ta'minlaydi va adsorbsiya samaradorligini oshiradi. Funktsional polimerlar asosida olingan uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan interpolimer tizimlar olishda ionitlarning bir-biriga nisbatan joylashgan masofasi ham muhim ahamiyatga ega. Bunda ionitlar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchi yuzasidan hosil bo'ladigan ta'sirlashuvni o'rganish maqsadida AN-31 anioniti (OH^- formada) va KU-2-8 kationit (H^+ formada) bir biriga nisbatan 2,5 sm; 2 sm; 1,5 sm; 1 sm; 0.5 sm uzoqlikda joylashtirildi. 1(b) – rasmdan ko'rinib turibdiki ionitlar orasidagi masofa o'zaro 0.5 smni tashkil qilganda ion almashinuvchi interpolimer tizimlarning elektr o'tkazuvchanlik xossasi yuqori bo'ldi.

AN-31 anionit va KU-2-8 kationitlarni o'z ichiga olgan uzoq tartibdagi ta'sirga ega inter polimer tizim makromolekulalar funktsional guruhlarining bir-biriga masofaviy o'zaro ta'sir qilish prinsipi asosida tuzilgan sxema 2-rasmda keltirilgan.

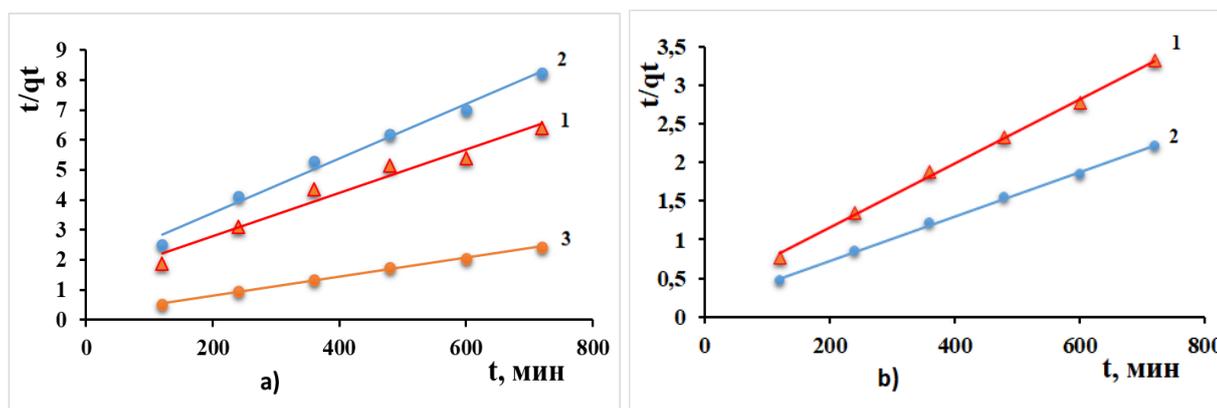


2-rasm. Uzoq tartibdagi ta'sirlashuvga asoslangan ion almashinuvchi tizimni tuzilish sxemasi.

Sorbsiya jarayonining mexanizmini aniqlashda bir qancha kinetik modellardan foydalaniladi. Ular qatoriga psevdobirinchi tartibli, psevdodikkinchi tartibli kinetik modellar kiradi. AN-31, KU-2-8 va sanoat ionitlari asosida olingan interpolimer tizimlarga mis va rodanid ionlarining adsorbsiyasi tezligi psevdobirinchi tartibli kinetik modelning tenglamasi koordinatlariga ($\log(q_e - q_t)$ t-vaqtga nisbatan bog'liqlikdan) va psevdodikkinchi tartibli kinetik modelning tenglamasi koordinatlariga (t/q_e va t-vaqtga nisbatan bog'liqlikdan) mos ravishda keladigan bog'liqliklar 3,4-rasmlarda keltirilgan.



3-rasm. Cu^{2+} (a) ioni 1)KU-2-8, 2)AN-31, 3)KU-2-8-AN-31 ionitlariga va SCN^- (b) ioni 1)AN-31, 2)KU-2-8-AN-31 ionitlariga psevdobirinchi tartibli kinetik model tenglamasi koordinatlaridagi ifodasi (tuzlarning konsentratsiyasi 0.1M, $T=303\text{K}$)



4-rasm. Cu^{2+} (a) ioni 1)KU-2-8, 2)AN-31, 3)KU-2-8-AN-31 ionitlariga va SCN^- (b) ioni 1)AN-31, 2)KU-2-8-AN-31 ionitlariga psevdodikkinchi tartibli kinetik model tenglamasi koordinatlaridagi ifodasi (tuzlarning konsentratsiyasi 0.1M, $T=303\text{K}$)

Ushbu bog‘liqliklardan topilgan tezlik konstantalari (k_1 va k_2) va korrelyatsiya koefitsiyentlari (R^2) 1-jadvalda keltirilgan. 1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki psevdodikkinchi tartibli kinetik model uchun korrelyatsiya koefitsiyenti qiymati psevdobirinchi tartibli model uchun korrelyatsiya koefitsiyenti qiymatidan (R^2) nisbatan yuqoriroq bo‘lganligi adsorbtsiyalanayotgan ionlarning AN-31, KU-2-8 ionitlari va interpolimer tizimlarga yutilishi psevdodikkinchi tartibli kinetik model tenglamasiga ko‘proq mos kelishidan dalolat beradi.

Jarayon kinetikasi pseudo-ikkinchi modelga mos kelishi, sorbsiya jarayoni tezligiga mis va rodanid ionlari konsentratsiyasidan tashqari ion almashinuvchi materiallar tarkibidagi ionogen guruhlar konsentratsiyasi ham ta‘sir ko‘rsatganligini bildiradi.

AN-31, KU-2-8 ion almashinuvchi materiallar va uzoq tartibli ta'sirga ega interpolimer tizimlarga Cu²⁺, SCN⁻ ionlari adsorbsiyasining kinetik ko'rsatkichlari.

Metal ioni	Dastlabki kons. (mol/l)	Pseudo-birinchi tartibli			Pseudo-ikkinchi tartibli		
		Muvozanat adsorbsiyasi q _e (mg·g ⁻¹)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²	Muvozanat adsorbsiyasi q _e (mg·g ⁻¹)	k ₂ ·10 ⁻⁵ (g·mg ⁻¹)	R ²
Cu ²⁺		KU-2-8					
	0.03	56,66	0,018	0,628	67,114	10,6	0,99
	0.04	76,47	0,018	0,638	87,719	10,2	0,99
	0.05	81,86	0,019	0,673	94,339	10,2	0,99
	0.06	87,72	0,018	0,637	103,093	7,27	0,98
	0.07	96,36	0,017	0,645	116,279	5,36	0,97
	0.08	105,87	0,020	0,591	129,870	4,19	0,97
	0.1	112,42	0,019	0,628	138,889	3,86	0,96
		O'rtacha k ₁ va k ₂	0,018		7.38		
		AN-31					
	0.03	57,76	0,009	0,665	101,01	2,01	0,98
	0.04	64,74	0,008	0,668	107,527	2,05	0,98
	0.05	70,76	0,009	0,669	114,942	2,09	0,94
	0.06	73,06	0,007	0,713	106,383	2,99	0,99
	0.07	77,16	0,008	0,664	104,167	3,86	0,99
	0.08	82,36	0,009	0,670	107,527	4,23	0,99
	0.1	87,43	0,009	0,635	109,890	4,77	0,99
		O'rtacha k ₁ va k ₂	0,084		3.14		
		KU-2-8-AN-31					
	0.03	189	0,019	0,576	222,22	2,51	0,9061
0.04	232	0,009	0,670	256,41	3,55	0,9673	
0.05	261	0,015	0,597	285,714	3,92	0,9862	
0.06	255	0,015	0,556	285,714	3,09	0,9658	
0.07	277	0,013	0,730	303,03	4,62	0,9897	
0.08	293	0,012	0,666	312,5	4,95	0,9913	
0.1	297	0,012	0,722	312,5	6,09	0,9973	
	O'rtacha k ₁ va k ₂	0,025		4.1			
SCN ⁻		AN-31					
	0.03	115,5055	0,0149	0,6521	115,5055	2,73	0,9927
	0.04	123,2262	0,0170	0,6677	123,2262	1,78	0,9966
	0.05	131,0062	0,0163	0,6659	131,0062	2,59	0,9972
	0.06	148,8455	0,0172	0,6608	148,8455	1,63	0,9979
	0.07	174,9676	0,0156	0,630	174,9676	1,18	0,9939
	0.08	192,4211	0,0175	0,6786	192,4211	8,08	0,9974
	0.1	217,3694	0,0172	0,7189	217,3694	5,28	0,998
		O'rtacha k ₁ va k ₂	0,0165		3,32		
		KU-2-8-AN-31					
0.03	140,99448	0,01773	0,6763	140,99448	3,09	0,9898	
0.04	169,91026	0,01958	0,7138	169,91026	4,33	0,9888	

0.05	201,37733	0,01935	0,6862	201,37733	4,618	0,9951
0.06	216,94151	0,01842	0,6781	216,94151	4,783	0,9956
0.07	241,61027	0,01865	0,7091	241,61027	4,435	0,998
0.08	267,27895	0,01958	0,6493	267,27895	5,170	0,998
0.1	295,12367	0,02073	0,671	295,12367	5,511	0,9985
O'rtacha k_1 va k_2		0,01915		4,563		

AN-31, KU-2-8 ionitlari va interpolimer tizimlarga Cu^{2+} , SCN^- ionlarining adsorbsiya mexanizmini chuqurroq tahlil qilish maqsadida adsorbsiya izotermalari zamonaviy nazariyalar yordamida taxlil qilindi. Izotermalarni tuzishdan oldin ionitlarning sorbsion qobiliyati eritma pH muhitiga bog'liq bo'lganligi uchun kuchsiz anionit bo'lgan AN-31 hamda KU-2-8 sulfokationit funksional polimerlarga Cu^{2+} , SCN^- ionlarining turli xil pH muhitlarda adsorbsiyasi o'rganildi. AN-31 anionitlarida sorbsiya jarayonlari pH-4.2 da yuqori darajada sodir bo'lgan. AN-31-KU-2-8 tarkibli interpolimer tizimlar uchun ham optimal pH qiymati 4.2 ekanligi kuzatildi.

Uzoq tartibli ta'sirga ega interpolimer tizimlarni olishda adsorbsiyaga AN-31 va KU-2-8 qatronlarining massa nisbatlarini (6:0; 5:1; 4:2; 3:3; 2:4; 1:5) o'zgarish ta'siri o'rganildi. Olingan natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

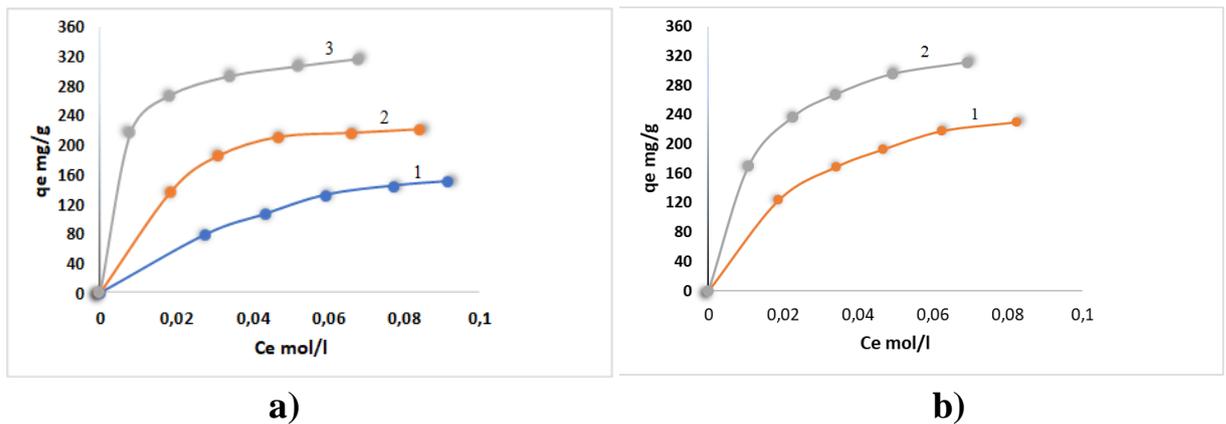
2-jadval

Uzoq tartibdagi ta'sirga asoslangan interpolimer tizimlarni olishda anionit va kationitning o'zaro mol nisbatlarini adsorbsiyaga ta'siri.

Adsorbsiya davomiyligi, (soat)	Nisbat					
	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5
	qe mg/g					
1	162.07	156.37	154.25	241.33	166.79	142.67
2	175.92	168.73	164.35	263.87	176.85	151.68
3	198.82	184.04	179.24	286.41	196.76	169.44
4	216.92	203.73	187.71	263.87	218.89	184.78
5	239.91	217.04	196.20	286.41	234.76	198.79
6	247.23	226.47	203.16	293.59	252.68	227.49
24	256.25	231.73	215.68	295.12	261.75	246.73

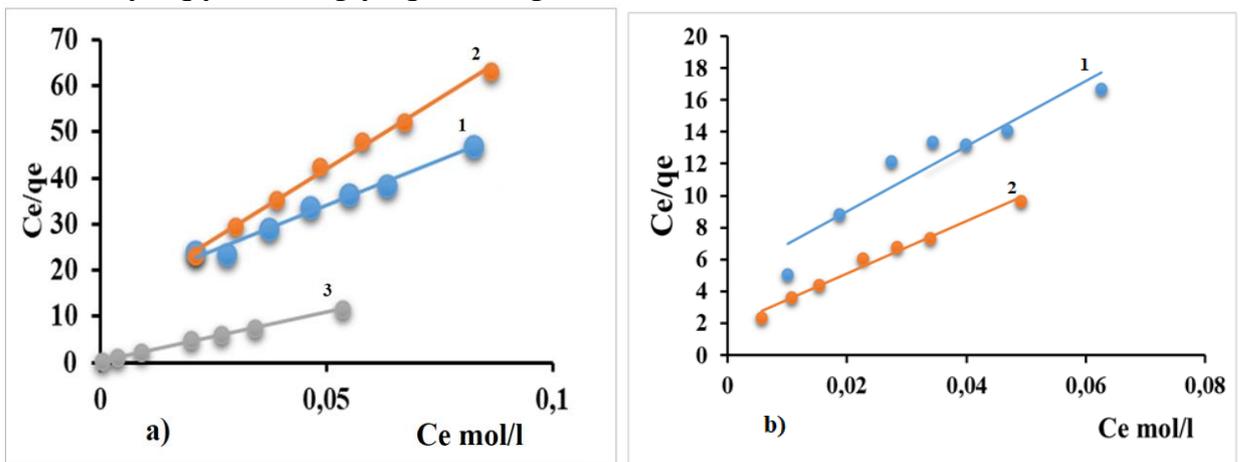
Olingan AN-31 anioniti va KU-2-8 kationiti asosidagi uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega interpolimer tizimlarda AN-31 va KU-2-8 ionitlarining mol nisbatlari 3:3 (ya'ni 1:1) bo'lganda sorbsiya unumi yuqori bo'ldi.

Olingan yakka holdagi ionitlar va yaratilgan inter polimer tizimlarning sorbsion xossalarini baholash maqsadida ushbu ion almashinuvchi sistemalarga kation bo'lgan Cu^{2+} ionlarini va anion bo'lgan SCN^- ionlarining adsorbsiyasi qiyosiy tekshirilgan.

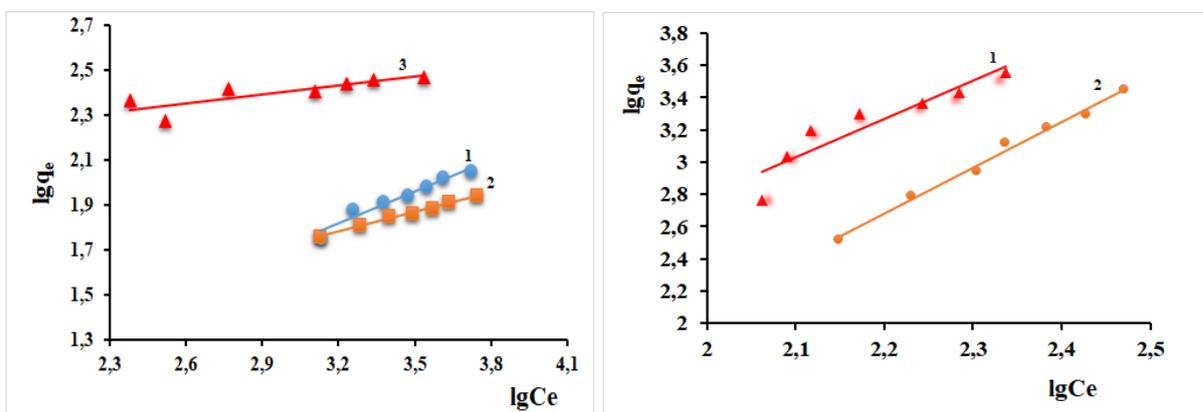


5-rasm. Cu^{2+} (a) ioni 1)KU-2-8, 2)AN-31, 3)KU-2-8-AN-31 ionitlariga va SCN^- (b) ioni 1)AN-31, 2)KU-2-8-AN-31 ionitlarga adsorbsiyasi izotermasi.

5-rasmda Cu^{2+} , SCN^- ionlarining turli xil ionitlarga yutilish izotermalari berilgan. Ko‘rinib turibdiki KU-2-8 kationiti va AN-31 anionitidan iborat uzoq tartibli ta‘sirlashuvga asoslangan interpolimer ion almashinuvchi tizimlarga adsorbsiya qiymati eng yuqori bo‘lgan.



6-rasm. Cu^{2+} (a) ioni 1)KU-2-8, 2)AN-31, 3)KU-2-8-AN-31 ionitlariga va SCN^- (b) ioni 1)AN-31, 2)KU-2-8-AN-31 ionitlariga adsorbsiyasini Lengmyur chiziqli tenglamasi koordinatalaridagi ifodasi



7-rasm. Cu^{2+} (a) ioni 1)KU-2-8, 2)AN-31, 3)KU-2-8-AN-31 ionitlariga va SCN^- (b) ioni 1)AN-31, 2)KU-2-8-AN-31 ionitlariga adsorbsiyasini Frenclix chiziqli tenglamasi koordinatalaridagi ifodasi q_e

Ionitlarga Cu^{2+} , SCN^- ionlarining adsorbsiya izotermalarini Lengmyur va Freyndlix modellari chiziqli tenglamalari koordinatalarida ifodasi 6,7-rasmlarda keltirilgan.

3-jadval

AN-31, KU-2-8 ionitlari va interpolimer tizimlarga Cu^{2+} , SCN^- ionlari adsorbsiyasining Lengmyur va Freyndlix tenglamalari konstantalarining qiymatlari

Ionitlar	Sorbsiyalangan ion	Lengmyur konstantalari				Freyndlix konstantalari		
		q_{\max} mg/g	K_L l/mol	R_L	R^2	n	K_F	R^2
AN-31	Cu^{2+}	145,4	0,002	0,514	0,916	1,45	2,23	0,85
KU-2-8		216,4	0,012	0,191	0,981	2,79	11,61	0,93
Inter.p Tizim		307,7	0,011	0,026	0,997	11,7	156,4	0,98
AN-31		282,5	0,0008	0,275	0,891	2,76	10,31	0,85
Inter.p Tizim	SCN^-	352,2	0,0015	0,186	0,984	2,87	18,48	0,96

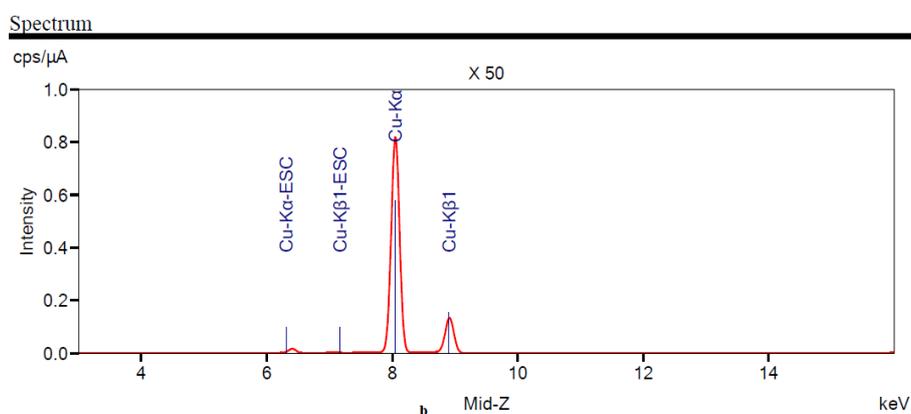
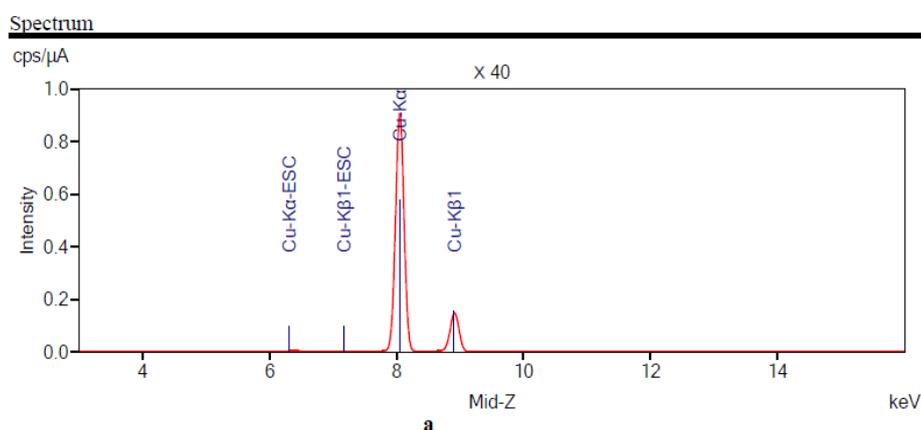
3-jadvalda adsorbsiya izotermasining Lengmyur va Freyndlix tenglamalari bo'yicha hisoblangan natijalari keltirilgan. Freyndlix parametrlari qiymatlariga ko'ra KU-2-8, AN-31 ionitlari va interpolimer tizimlarga Cu^{2+} hamda SCN^- ionlari adsorbsiyasida «n» ning qiymati mos ravishda 1,45; 2,79; 11,76; va 2,76; 2,87 ga teng. «n» qiymati inter polimer tizimlar uchun yuqoriroq bo'lganligi mis, rodanid ionlarining adsorbsiyasi ularga yaxshiroq borganligidan dalolat beradi. Lengmyur adsorbsiya izotermalari hisoblari bo'yicha korrelyatsiya koeffisienti R^2 qiymatlari barcha ion almashinuvchi tizimlar uchun Cu^{2+} va SCN^- ionlarida Freyndlix adsorbsiya izotermalari hisoblari bo'yicha topilgan korrelyatsiya koeffisienti R^2 qiymatlaridan yuqori. Demak KU-2-8 va AN-31 ionitlari hamda inter polimer sistemasiga Cu^{2+} va SCN^- ionlari adsorbsiyasining izotermalari Lengmyur izoterma modeli yordamida yaqollroq ifodalanishini ko'rishimiz mumkin.

KU-2-8 va AN-31 ionitlar va ular asosidagi inter polimer tizimlarga 293 dan 313K haroratlar oraliqlarida sun'iy eritmadan Cu^{2+} va SCN^- ionlarining adsorbsiya jarayonlarida termodinamik parametrlarning o'zgarishi 4-jadvalda keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki erkin energiyani o'zgarishi inter polimer tizimda eng katta ya'ni ushbu tizimning Cu^{2+} va SCN^- ionlariga nisbatan moyilligi eng yuqori.

Sun'iy eritmalardan Cu^{2+} va SCN^- ionlarining adsorbsiya jarayoni termodinamik parametrlari

Ionitlar	Sorbsiyalangan ion	ΔH^0 (J/mol)	ΔS^0 (J/molK)	ΔG^0 (J/mol)		
				293 K	303 K	313 K
AN-31	Cu^{2+}	3643	39.5	-6089	-8320	-10392
KU-2-8		2100	41.5	-8039	-10484	-12066
Interpolimer tizim		1958	57.8	-15910	-16564	-17703
AN-31	SCN^-	2124	36.5	-6281	-8832	-9727
Interpolimer tizim		1750	43.1	-9775	-11303	-12155

8-rasmda ion almashinuvchi tizimni tashkil qiluvchi ionitlarning Cu^{2+} ionlari sorbsiyasidan so'ng rentgenfluorissent (ED-XRF) analiz tahlili keltirilgan

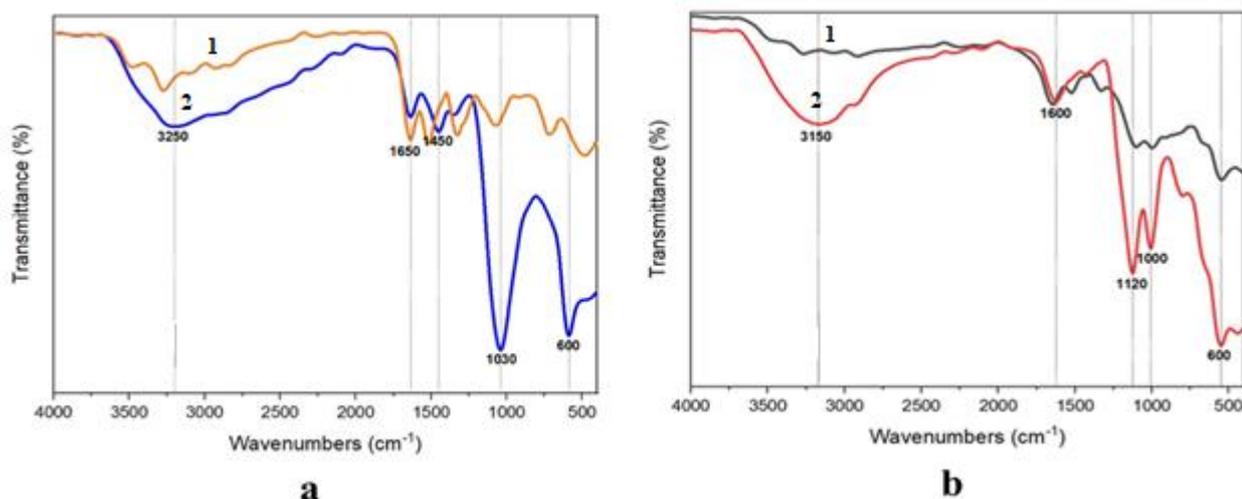


8-rasm. Inter polimer sistemasidagi AN-31 anionit (a) va KU-2-8 sulfo kation almashinuvchi (b) larning Cu^{2+} ionlari sorbsiyasidan keyingi

ED-XRF tahlili.

ED-XRF spektridan ko‘rinib turibdiki inter polimer tizim tarkibidagi ionlarni ikkalasi ham Cu^{2+} ionlarini adsorbsiyalagan. Cu^{2+} ionlarining sorbentlar tarkibidagi intensivligi AN-31 anion almashinuvchi uchun 455 va KU-2-8 sulfo kation almashinuvchi uchun 485ga teng. Demak ikkala sorbent ham amalda bir biriga yaqin bo‘lgan Cu^{2+} ionlarining miqdorini yutar ekan.

Cu^{2+} ioni ionitlarga qanday bog‘langanligini aniqlash uchun ionitlar va Cu^{2+} ioni tutgan ionitlarni infraqizil (IQ) spektrlari o‘lchangan (9-rasm). AN-31 anion almashinuvchiga Cu^{2+} ionlari azot atomiga SO_4^{2-} ionlari orqali bog‘langanligini 3250 va 1030 cm^{-1} sohadagi cho‘qqilardagi intensivligi keskin ortib ketishi isbotlaydi. Sulfoguruhning kislorod atomlari va metal ioni orasida bog‘lanish paydo bo‘lganligini 610 cm^{-1} sohadagi cho‘qqi ko‘rsatib turibdi. KU-2-8 sulfo kation almashinuvchiga Cu^{2+} ionlari sulfon guruhlarga ion bog‘i orqali bog‘langanligi haqida 3150, 1120, 1000 va 620 cm^{-1} sohadagi cho‘qqilarning paydo bo‘lishi yoki intensivligi ortishi dalolat beradi.



9-rasm. AN-31 anion almashinuvchi (1) va Cu^{2+} ionlari tutgan AN-31(2) (a) hamda KU-2-8 kationiti(1) va Cu^{2+} ioni tutgan KU-2-8(2) (b) infraqizil spektrlari

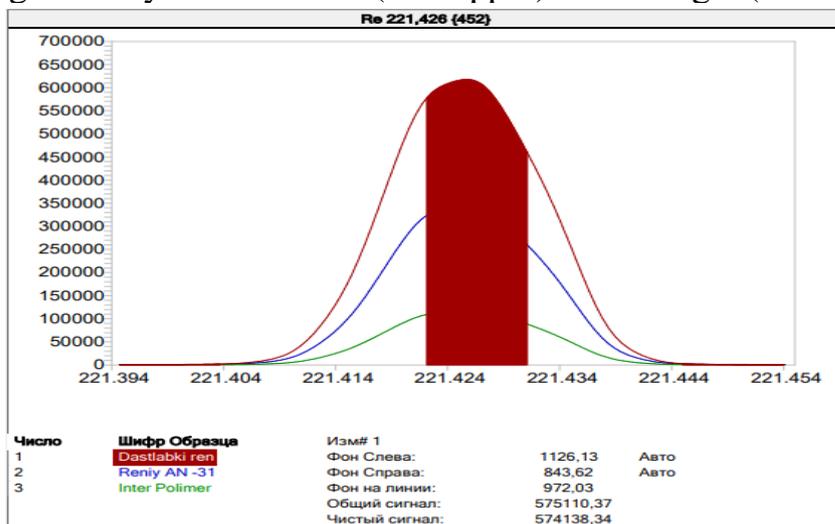
Sanoatda asosan eritmalardan ionitlar yordamida turli hil ionlarni ajratib olish ko‘proq dinamik usulda olib borilganligi uchun mis va rodanid ionlarini inter polimer tizimlarga dinamik adsorbsiyasi tekshirildi. Qurilmaning mis ionlari bo‘yicha $\text{DAS}=139.7$ mg/g, rodanid ionlari bo‘yicha $\text{DAS}=142.9$ mg/g bo‘lib chiqdi.

Interpolimer tizimlarga asoslangan oqava suvlarni tozalash qurilmasi yaratildi va “MAXAM-CHIRCHIQ” AJ dan ajralib chiqadigan oqava suvlarini tozalash uchun sinovdan o‘tkazildi. Uzoq tartibdagi ta’sirlashuvga asoslangan interpolimer tizimlar “MAXAM-CHIRCHIQ” AJ “Oqava suvlarni nazorat qilish” bo‘limi hodimlari bilan birgalikda oqava suv tarkibidan Cu^{2+} va SCN^- ionlarini adsorbsiyalashda tekshirildi va ushbu ionlarning konsentratsiyasini ruxsat etilgan darajagacha tushirildi. Sinovdan o‘tkazilayotgan interpolimer tizim asosidagi qurilmada oqava suvlarni Cu^{2+} va SCN^- ionlaridan tozalash bo‘yicha sorbsiya va desorbsiya jarayonlari 10 marta takror o‘tkazildi, buning natijasida interpolimer tizimning sorbsion xossalari deyarli o‘zgarmadi. Sorbsiya qilingan Cu^{2+} ionlarini

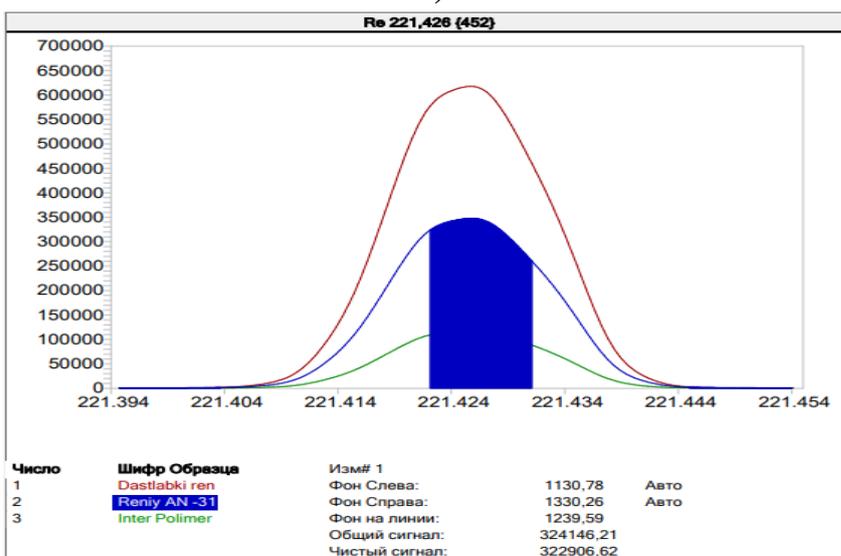
desorbsiya qilish uchun H_2SO_4 ning 5% li suvli eritmasidan va SCN^- ionlarini desorbsiya qilish uchun $NaOH$ 4% li eritmasidan foydalanildi.

Tajriba olib borish maqsadida ion almashinuvchi material bilan to'ldirilgan 1 l hajmdagi kalonka orqali 1000 l hajmdagi oqava suvi o'tkazildi. Natijada korxonadan chiqayotgan oqava suvni interpolimer tizimlar asosida yaratilgan qurilmadan o'tkazish orqali Cu^{2+} ionlarining miqdori 7.8 mg/l dan 0.2 mg/l gacha, SCN^- ionlarining miqdori 5 mg/l dan 0.05 mg/l gacha kamaydi. Natijada korxonadan chiqayotgan oqava suv atrof muhit ekologiyasiga salbiy ta'sir qilmasligi ko'rildi.

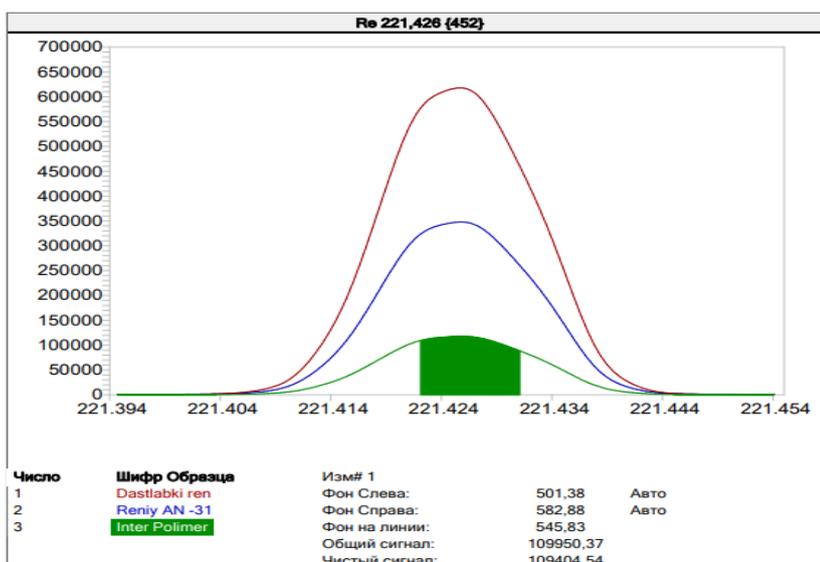
Yangi olingan inter polimer sistemani boshqa ionlarga bo'lgan ta'sirini tekshirish maqsadida AN-31 anionitiga va sistemaga ReO_4^- ionlarini adsorbsiyasi o'rganildi. Adsorbsiya miqdorini aniqlash uchun dastlabki va adsorbsiyadan keyingi eritmalardagi ReO_4^- ionlarining konsentratsiyasi atom emission spektroskopik tahlil yordamida aniqlandi. Olingan natijalarga ko'ra inter polimer sistemadan o'tkazilgan eritmada perrenat ionlarining miqdori (2514 ppm) AN-31 anionitidan o'tkazilgan eritmaga qaraganda deyarli 3 baravar (7885 ppm) kam bo'lgan(10-rasm).



a)



b)



с)

10-rasm. ReO_4^- ionlarini dastlabki(a) va AN-31 anionitida(b), inter polimer sistemada(c) adsorbsiyadan keyingi eritmalarning atom emission spektroskopik analizi.

XULOSALAR

1. Sanoat ionitlari asosida uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega yangi interpolimer tizim olishning maqbul sharoitlari: AN-31 anioniti (OH^- shaklida) va KU-2-8 kationiti (H^+ shaklida) 1:1 mol nisbatda va o'zaro bir biriga nisbatan ionitlar zarrachlarini molekular radiusdan katta bo'lgan 0,5 sm masofada joylashtirish va 48 soat davomida distillangan suv bilan yuvib faollashtirish mumkinligi aniqlandi.
2. AN-31 anionitiga va KU-2-8 kationitiga hamda ular asosidagi interpolimer tizimlarga suvli eritmalaridan Cu^{2+} ionlarini adsorbsiyasining maqbul muhiti pH 4.2 ekanligi ta'kidlandi.
3. AN-31, KU-2-8 ionitlarga va interpolimer tizimlarga Cu^{2+} ionlarining sorbsiya kinetikasi psevd-ikkinchi tartibli kinetik modelga mos ekanligi aniqlandi va reaksiya tezligiga (geterogen bo'lishiga qaramasdan) yutilayotgan ionlar konsentratsiyasidan tashqari ionit tarkibidagi funksional guruhlarining konsentratsiyasi ham ta'sir qilishi isbotlandi.
4. AN-31, KU-2-8 ionitlarga va ular asosidagi interpolimer tizimlarga SCN^- ionlarining sorbsiya kinetikasi o'rganildi va olingan natijalar huddi mis ionlarining adsorbsiya jarayoni kabi, psevd-ikkinchi tartibli kinetik modelga mos ekanligi aniqlandi.
5. AN-31, KU-2-8 ionitlar va interpolimer tizimlarga mis va rodanid ionlari adsorbsiyasiga harorat va yutilayotgan ionlar konsentratsiyasini ta'sirini tadqiq qilish orqali adsorbsiya izotermalari tuzilib, ularning borishi Lengmyur chiziqli tenlamasiga ko'proq mos ekanligi aniqlandi.
6. AN-31 anionitiga, KU-2-8 kationitiga hamda ular asosidagi inter polimer tizimga Cu^{2+} va SCN^- ionlarining adsorbsiya jarayonining termodinamikasi

hisoblanib, erkin energiyaning o'zgarishi inter polimer tizimda eng katta ekanligi, ushbu tizimning Cu^{2+} va SCN^- ionlariga nisbatan moyilligining yuqoriligi, uni "MAXAM-CHIRCHIQ" AJ dagi oqava suvlar tarkibidagi Cu^{2+} va SCN^- ionlarini ajratib olishda qo'llash uchun tavsiya qilindi.

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

УСМАНОВА ХУРШИДА ХОЛБОЙ КИЗИ.

**ИНТЕРПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА
ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ, НАБЛЮДАЕМЫХ
МЕЖДУ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТАМИ**

02.00.06 – Высокомолекулярные соединения

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент-2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2024_1. PhD/K724

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках [узбекский, русский, английский (резюме)] размещен на веб-странице по адресу www.ik-kimyo.nuu.uz и информационно-образовательном портале «ZiyoNET» по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель:	Мухамедиев Мухтаржан Ганиевич доктор химических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Рафиков Адхам Салимович доктор химических наук, профессор Кутлимуродов Нурбек Маткаримович PhD, доцент
Ведущая организации:	Ташкентский химико-технологический институт

Защита диссертации состоится «25» декабря 2025 г. в 9:30 часов на заседании разового научного совета при Научном совете PhD.03/30.12.2019.K.01.03 при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4. Тел.: (998 71) 246-07-88; (998 71) 227-12-24, факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: ilmiy-kengash@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирован за № 36) (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4. Тел.: (+99871) 246-67-71; 227-12-24; факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: rector@nuu.uz).

Автореферат диссертации разослан «16» декабря 2025 г.
(протокол рассылки № 35 от «15» декабря 2025 г.).


З.А. Сманова
Председатель разового
научного совета по
присуждению учёной степени
доктора наук, д.х.н., профессор


Н.Х. Кутлимуратова
Ученый секретарь разового
научного совета по
присуждению учёной степени
доктора наук, д.х.н., профессор.


М.А. Махкамов
Председатель разового научного
семинара при научном совете по
присуждению учёной степени доктора
наук, д.х.н., профессор.



ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Рост и расширение промышленных предприятий в мире на сегодняшний день привели к увеличению содержания ионов тяжёлых и токсичных металлов в сточных и природных водах, что создаёт экологические проблемы. Ионообменные материалы широко используются для эффективной очистки сточных и природных вод. Иониты имеют большое практическое значение, поскольку их можно использовать многократно, а технологии очистки воды на их основе дешевле и эффективнее других методов.

В мировой практике на сегодняшний день особое внимание уделяется получению и улучшению физико-химических свойств интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием на основе промышленных ионообменных материалов. В связи с этим оптимизация условий получения интерполимерных систем, повышение эффективности их эксплуатации, увеличение сорбционных свойств по отношению к ионам тяжелых и токсичных металлов, их промышленное применения и снижение себестоимости производства ионообменных материалов имеют важное научное значение.

Сегодня, в связи с высокой потребностью в эффективных ионообменных материалах в нашей Республике, проводится ряд научных исследований, направленных на расширение сфер применения ионитов, используемых в промышленности, и внедрение их в практику. В новой Стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы обозначены важные задачи, направленные на «Очистку сточных вод от тяжёлых и токсичных ионов с использованием локальных ионитов». Для этого одним из основных вопросов является создание интерполимерных систем длительного действия на основе промышленных ионитов, изучение физико-химических и сорбционных свойств полученных систем и сорбционная очистка промышленных сточных вод с их использованием.

Результаты данного диссертационного исследования в определенной степени послужат обеспечению выполнения проектных и инжиниринговых услуг, развитию научных исследований в рамках кластера медной промышленности, а также реализации задач, определенных в других нормативно-правовых актах, связанных с этой деятельностью, в соответствии с Указом Президента Республики Узбекистан от 3 апреля 2019 года № ПП-4265 «О мерах по дальнейшему реформированию химической промышленности и повышению ее инвестиционной привлекательности», № ПФ-4992 от 13 февраля 2021 года «О мерах по дальнейшему реформированию и укреплению финансовой устойчивости предприятий химической промышленности, развитию производства химической продукции с высокой

добавленной стоимостью» и Постановлением № ПП-5159 от 24 июня 2021 года «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных с ней отраслей».

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики. Исследования выполнены в соответствии с Приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII. Химические технологии и нанотехнологии.

Степень изученности проблемы.

Ученые мира проводят исследования по синтезу различных ионообменных функциональных полимерных материалов путем модификации промышленных и природных полимеров. Полученные ионообменные материалы используются для разделения различных ионов из промышленных сточных вод и технологических растворов. В результате они способствуют эффективному разделению ионов Cu^{2+} , SCN^- и ReO_4^- и предотвращению некоторых экологических проблем. В частности, зарубежные ученые Т. Джумадилов, В. Даванков, Н. Давра, Н. Дабас, К. З. Элвакил, А. М. Элгарахи, З. А. Хан, Й. Чжан Гжегож Войчик, Виолета Нягу, О. Н. Кононова, Фумихико Огата и другие изучали механизмы сорбции ионов Cu^{2+} , SCN^- и ReO_4^- , на ионитах, полученных из промышленных и природных полимеров а также области применения этих ионитов.

В нашей стране научные исследования по синтезу и физико-химическим свойствам ионитов проводили У.Н.Мусаев, М.А.Аскарлов, С.Ш.Рашидова, А.Т.Джалилов, С.М.Турабжонов, Х.А.Акбаров, Т.М.Бабаев, Х.Т.Тураев, О.Н.Розимуродов, Д.А.Гафурова, Д.Дж.Бекчанов, Н.Т.Каттаев, Т.Х.Рахимов, М.М.Каримов, М.К.Рустамов и многие другие ученые.

В научных исследованиях указанных учёных в основном представлены методы изучения сорбции ионов Cu^{2+} , SCN^- и ReO_4^- волокнистыми анионитами и ионообменными материалами. Однако научные исследования, направленные на изучение механизмов получения интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием на основе промышленных ионообменников, сорбция ионов Cu^{2+} , SCN^- и ReO_4^- этими системами и их физико-химических свойств, не проводились.

Соответствие диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы высшего учебного или научно-исследовательского учреждения, в котором выполняется диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР Национального университета Узбекистана в рамках фундаментального проекта ФЗ-8323102079 «Закономерности низкотемпературного структурообразования кристаллических фаз в поликомпонентных металлических и металлооксидных системах и синтез нерастворимых функциональных материалов на поверхности углеродных материалов с использованием методов нанотехнологии» (2023-2026 гг).

Целью исследования заключается в исследовании получения и применения интерполимерных систем, основанных на дальнедействующих взаимодействиях, наблюдаемых между полиэлектролитами.

Задачи исследования:

определение оптимальных условий создания новой ионообменной системы с дальнедействующим взаимодействием на основе широко используемых в промышленности сорбентов;

изучение кинетики и изотермы сорбции ионов Cu^{2+} на промышленно используемых сульфокатионите КУ-2-8, анионите АН-31 и созданной ионообменной системе и определение оптимальные условия проведения процесса сорбции;

изучение кинетики и изотермы сорбции ионов SCN^- на промышленно используемых сульфокатионите КУ-2-8, анионите АН-31 и созданной ионообменной системе и определение оптимальные условия проведения процесса сорбции;

определение и анализ значения термодинамических функции процесса адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- на исследуемых ионообменных системах;

исследование сорбции ионов ReO_4^- на новой ионообменной системе, состоящей из промышленного сульфокатионита КУ-2-8 и анионита АН-31;

выявление областей применения полученной новой ионообменной системы в промышленности.

Объектами исследования являлись иониты АН-31, КУ-2-8, интерполимерная система АН-31-КУ-2-8, соли сульфата меди, роданида аммония и перрената аммония.

Предмет исследований адсорбция, десорбция, регенерация, кинетика, изотермы, термодинамика, современные физико-химические методы исследования.

Методы исследования. В ходе исследований использовались современные теоретические и экспериментальные методы исследования, в том числе такие экспериментальные методы, как ИК- и рамановская спектроскопия, элементный анализ, атомно-эмиссионная спектроскопия, рентгенофлуоресцентная спектроскопия; при изучении процессов адсорбции анализ изотерм проводился с использованием моделей Ленгмюра и Фрейндлиха, а кинетика адсорбции с использованием кинетических моделей псевдопервого и псевдвторого порядков.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

установлено, что интерполимерная система, основанная на дальнедействующем взаимодействии, обладает более высокими сорбционными свойствами, чем индивидуальные иониты. Данное явление объясняется более высокой электропроводностью вновь созданной системы, за счёт образованием молекул H_2O с OH^- ионами анионита и H^+ ионами катионита и, как следствие, увеличением числа заряженных групп в ионитах;

установлено, что кинетика адсорбции катионов меди и роданид-анионов на ионитах и интерполимерной системе согласуется с кинетической моделью псевдвторого порядка, следовательно на скорость реакции влияет не только концентрация ионов меди и роданида в растворе, но и концентрация функциональных групп в полимере;

установлено, что ход изотерм адсорбции катиона меди и роданид-аниона на индивидуальных ионообменниках и на интерполимерной системе соответствуют модели Ленгмюра для всех ионообменных систем;

определены физико-химические свойства новой интерполимерной системы на основе функциональных полимеров и динамическая ёмкость их по ионам меди и роданида к этой системе: $Q_{\text{АС}}=139,7$ мг/г для ионов меди и $Q_{\text{АС}}=142,9$ мг/г для ионов роданида; установлено, что эффективность сорбции-десорбции ионов в интерполимерной системе КУ-2-8-АН-31, составляет не менее 97% даже при 10-кратном повторении процесса;

установлено, что в интерполимерных системах процесс сорбции анионов происходит только за счет анионита, тогда как для катионов процесс сорбции происходит как за счет катионита, так и анионита входящих в состав системы.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

найжены оптимальные условия получения интерполимерной системы с дальнодействующим взаимодействием на основе промышленных ионитов анионита АН-31 и катионита КУ-2-8;

установлено, что использование интерполимерной системы, основанной на дальнодействующем взаимодействии, позволяет эффективно очищать сточные воды от ионов Cu^{2+} , SCN^- а также выделять ионы ReO_4^- из технологических растворов;

показано, что использование полученной интерполимерной системы позволяет с высокой эффективностью удалять ионы Cu^{2+} , SCN^- содержащиеся в сточных водах АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК».

Достоверность полученных результатов исследования определяется использованием современных методов, таких как ИК-спектроскопия, спектрофотометрия, рентгенофлуоресцентная спектроскопия, атомно-эмиссионная спектроскопия. Кинетика адсорбционных процессов описывается с использованием кинетических моделей псевдопервого и псевдвторого порядков; изотерма адсорбции рассчитывается с использованием уравнений моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Соответствующие выводы делаются на основе анализа результатов, полученных в практической части исследования с использованием уравнений, представленных в современных теориях изотерм адсорбции и математических статистических методов.

Научная и практическая значимость результатов исследования

Научная значимость результатов исследований заключается в создании научных основ получения новых интерполимерных систем на основе дальнодействующего взаимодействия путем установления анионита АН-31 и

катионита КУ-2-8 на определенном расстоянии и измерения их электропроводности, а также в демонстрации преимуществ интерполимерных систем путем изучения кинетики и изотерм сорбции ионов меди, роданида.

Практическая значимость результатов исследований определяется тем, что интерполимерные системы на основе анионита АН-31 и катионита КУ-2-8 обладают способностью очищать промышленные сточные воды от токсичных ионов меди и роданида с большей эффективностью, чем индивидуальные иониты, что позволяет широко использовать их в природоохранной деятельности.

Внедрение результатов исследования.

На основании научных результатов, полученных при изучении физико-химических свойств новой интерполимерной системы с дальнедействующим взаимодействием с использованием промышленных ионитов:

создана установка очистки сточных вод на основе интерполимерных систем из промышленных ионитов и внедрена для очистки сточных вод от ионов Cu^{2+} АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК» (справка № 30-2/34 АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК» от 21.05.2025 г.). В результате установлено, что количество ионов меди в сточных водах завода снизилось с 7,8 мг/л до 0,2 мг/л;

создана установка очистки сточных вод на основе интерполимерных систем из промышленных ионитов и внедрена для очистки сточных вод от ионов SCN^- завода АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК» (справка № 30-2/35 АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК» от 21.05.2025 г.). В результате внедрения установлено, что концентрация роданид-ионов в сточных водах снизилась с исходных 5 мг/л до 0,05 мг/л. Это свидетельствует о том, что чистота сбрасываемых предприятием сточных вод соответствует требованиям Комитета по охране природы и не оказывает негативного влияния на экологию внешней среды, а также обеспечивает социально-экономический эффект.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на 10 научно-практических конференциях, в том числе 7 международных и 3 всероссийских.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из них 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора философии (PhD), и 2 статья в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составил 104 страниц.³

³ Автор выражает искреннюю благодарность доктору химических наук, профессору Бекчанову Д.Ж. за научные консультации при выполнении диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **вводной части** обозначены актуальность, новизна и востребованность диссертационной работы, сформулированы цель, задачи исследования, определены объект и предметы. Показано, что данная научно-исследовательская работа соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники нашей республики. Полностью раскрыты научная новизна и практические результаты исследования, доказана достоверность полученных результатов. Всесторонне освещены теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены внедрение результатов исследования, опубликованность работы, структура и объем диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Закономерности адсорбции ионов меди (II) и роданид-ионов различными ионообменными сорбентами (обзор литературы)»** рассматривается вред ионов металлов, поступающих в окружающую среду с промышленными сточными водами, а также отрицательное воздействие токсичных ионов меди и роданид-ионов на флору, фауну, организм человека и природу. Рассмотрены кинетика и изотермы адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- из растворов на ионообменных материалах, содержащих функциональные ионогенные группы, полученных путем модификации различных природных, синтетических, гранулированных и волокнистых полимеров, а также физико-химические изменения, наблюдаемые в ионообменниках в результате адсорбции, и области промышленного применения. В данной главе представлено сравнительное исследование научных исследований, проведенных учеными разных стран мира и нашей республики, посвященное широкому применению, роли и значению ионообменных материалов в процессах очистки промышленных сточных вод от ионов меди и выделения их из технологических растворов.

В заключении устанавливается актуальность и необходимость темы исследования, а также определяются цели и задачи диссертации на основе анализа представленных в литературе теоретических и практических результатов.

Во второй главе диссертации **«Получение, сорбция и физико-химические свойства новых интерполимерных систем на основе промышленных ионитов»** изложены принципы получения интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием в присутствии функциональных полимеров, в том числе анионита АН-31 и катионита КУ-2-8. Исследованы и проанализированы кинетика, изотерма, термодинамика адсорбции ионов меди и роданида на данном анионите и сульфокатионите и на интерполимерной системе, а также физико-химические свойства ионообменных материалов после адсорбции ионов.

Первоначально было изучено влияние различных физико-химических свойств, массовых соотношений и расстояний между ионитами на электропроводность растворов при получении новых дальнедействующих интерполимерных систем на основе промышленных функциональных

полимеров – анионита АН-31 и катионита КУ-2-8. Влияние расстояний между ионитами на электропроводность растворов при получении дальнедействующих интерполимерных систем на основе промышленных ионообменных материалов показано на рисунке 1.

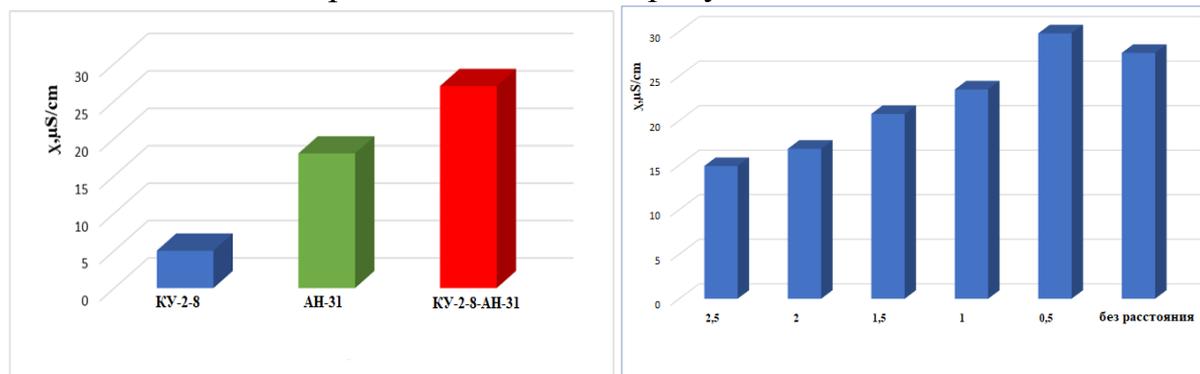


Рис.1. Электропроводности водных растворов ионитов и интерполимерных систем (расстояние 0,5 см) (а) и зависимость электропроводности водных растворов от расстояния между ионитами (б).

Для подготовки используемых ионообменных систем к процессу адсорбции интерполимерные системы на основе анионита АН-31 (в OH^- форме), КУ-2-8 (в H^+ форме) и указанных ионообменных материалов, расположенных на определенном расстоянии друг от друга, активировались в дистиллированной воде в течение 48 часов. Методом кондуктометрии определена электропроводность ионообменных материалов и интерполимерных систем на их основе в дистиллированной воде, которая составила для анионита АН-31 – $18 \mu\text{S}/\text{cm}$, для катионита КУ-2-8 – $5,2 \mu\text{S}/\text{cm}$, а электропроводность дистиллированной воды с интерполимерной системой на их основе – $26,05 \mu\text{S}/\text{cm}$. Полученные результаты и выводы, представленные в литературном обзоре, позволили предложить механизм изучаемого процесса. Суть его заключается в том, что ионы H^+ катионита и ионы OH^- анионита в интерполимерных системах взаимодействуют с образованием молекулы воды, в результате чего увеличивается количество положительных зарядов на различных аминогруппах анионита АН-31 и количество отрицательных зарядов на сульфогруппах катионита КУ-2-8 за счет повышения степени ионизации. Это приводит к повышению адсорбционной емкости данных анионитов и катионитов.

В системах с дальнедействующим взаимодействием ионообменники взаимодействуют друг с другом не напрямую, а на расстоянии. Это обеспечивает селективность ионообменников к различным ионам и повышает эффективность адсорбции. При получении интерполимерных систем с дальнедействующими взаимодействиями на основе функциональных полимеров также важно расстояние между ионообменниками друг относительно друга. Для изучения взаимодействия между ионообменниками, обусловленного силой взаимодействия, анионообменник АН-31 (в OH^- форме) и катионообменник КУ-2-8 (в H^+ форме) располагали на расстоянии 2,5 см; 2 см; 1,5 см; 1 см; 0,5 см друг от друга. Как видно из рисунка 1(б),

электропроводность ионообменных интерполимерных систем выше при расстоянии между ионообменниками 0,5 см.

Схема интерполимерной системы, содержащей анионит АН-31 и катионит КУ-2-8, основанная на принципе дальнего взаимодействия функциональных групп макромолекул, представлена на рисунке 2.

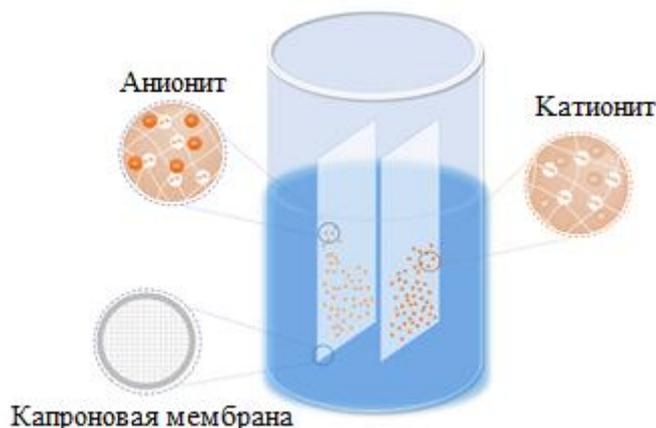


Рис.2. Схема структуры ионообменной системы, основанной на дальнем взаимодействии.

Для определения механизма сорбционного процесса используется ряд кинетических моделей, в том числе псевдопервого и псевдвторого порядков. Зависимости скорости адсорбции ионов меди и роданида на интерполимерных системах, полученных на основе ионитов АН-31, КУ-2-8 и промышленных ионитах, в координатах уравнений кинетической модели псевдопервого порядка ($\lg(q_e - qt)$ от t -времени) и кинетической модели псевдвторого порядка (t/q_e от t -времени), представлены на рисунках 3 и 4.

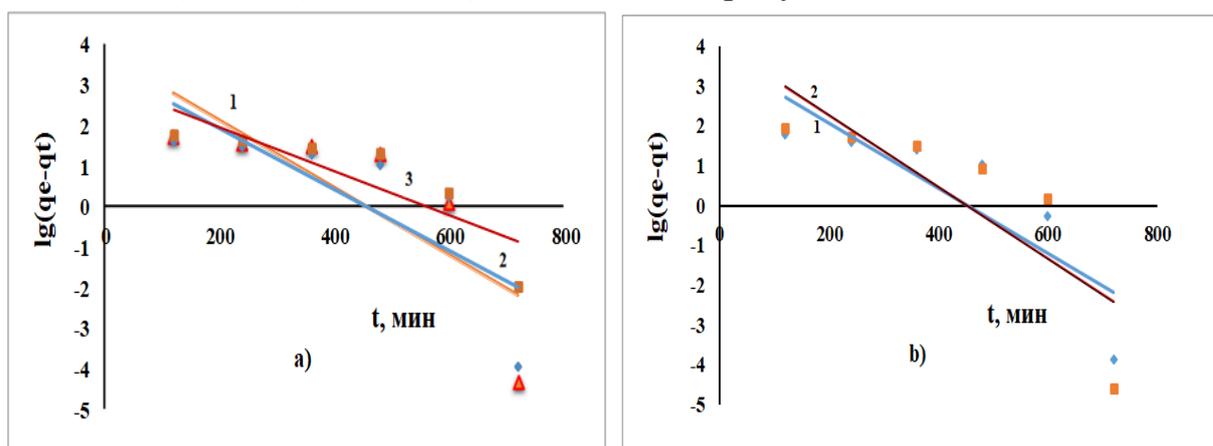


Рис.3. Кинетика адсорбции иона Cu^{2+} (а) на ионитах 1)КУ-2-8, 2)АН-31, 3)КУ-2-8-АН-31 и иона SCN^- (б) на ионитах 1)АН-31, 2)КУ-2-8-АН-31 в координатах уравнения кинетической модели псевдопервого порядка (концентрация соли 0,1М, $T=303\text{K}$)

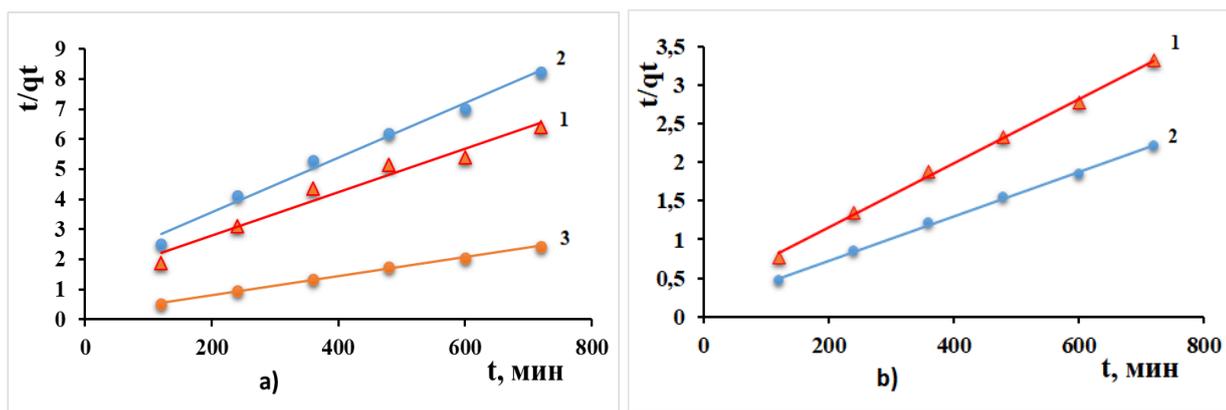


Рис. 4. Кинетика адсорбции иона Cu^{2+} (а) на ионитах 1)КУ-2-8, 2)АН-31, 3)КУ-2-8-АН-31 и иона SCN^- (б) на ионитах 1)АН-31, 2)КУ-2-8-АН-31 в координатах уравнения кинетической модели псевдвторого порядка (концентрация соли 0.1М, $T=303\text{K}$)

Полученные из этих соотношений константы скорости (k_1 и k_2) и коэффициенты корреляции (R^2) представлены в табл. 1. Как видно из табл. 1, более высокое значение коэффициента корреляции для кинетической модели псевдвторого порядка по сравнению с значением коэффициента корреляции (R^2) для модели псевдопервого порядка свидетельствует о том, что адсорбция ионов на ионитах АН-31, КУ-2-8 и интерполимерных системах в большей степени соответствует уравнению кинетической модели псевдвторого порядка.

Таблица 1
Кинетические параметры адсорбции ионов Cu^{2+} , SCN^- на ионообменных материалах АН-31, КУ-2-8 и интерполимерных системах с дальнедействующим взаимодействием.

Ион металла	Начальная концентрация (моль/л)	Псевдопервого порядка			Псевдвторого порядка		
		Равновесная адсорбция q_e (мг г ⁻¹)	k_1 (мин ⁻¹)	R^2	Равновесная адсорбция q_e (мг г ⁻¹)	$k_2 \cdot 10^{-5}$ (мг г ⁻¹)	R^2
Cu^{2+}	КУ-2-8						
	0.03	56,66	0,018	0,628	67,114	10,6	0,99
	0.04	76,47	0,018	0,638	87,719	10,2	0,99
	0.05	81,86	0,019	0,673	94,339	10,2	0,99
	0.06	87,72	0,018	0,637	103,093	7,27	0,98
	0.07	96,36	0,017	0,645	116,279	5,36	0,97
	0.08	105,87	0,020	0,591	129,870	4,19	0,97
	0.1	112,42	0,019	0,628	138,889	3,86	0,96
	Среднее значение k_1 и k_2		0,018		7,38		
	АН-31						
	0.03	57,76	0,009	0,665	101,01	2,01	0,98
	0.04	64,74	0,008	0,668	107,527	2,05	0,98
	0.05	70,76	0,009	0,669	114,942	2,09	0,94
	0.06	73,06	0,007	0,713	106,383	2,99	0,99
	0.07	77,16	0,008	0,664	104,167	3,86	0,99

	0.08	82,36	0,009	0,670	107,527	4,23	0,99	
	0.1	87,43	0,009	0,635	109,890	4,77	0,99	
	Среднее значение k_1 и k_2		0,084				3.14	
	КУ-2-8-АН-31							
	0.03	189	0,019	0,576	222,22	2,51	0,9061	
	0.04	232	0,009	0,670	256,41	3,55	0,9673	
	0.05	261	0,015	0,597	285,714	3,92	0,9862	
	0.06	255	0,015	0,556	285,714	3,09	0,9658	
	0.07	277	0,013	0,730	303,03	4,62	0,9897	
	0.08	293	0,012	0,666	312,5	4,95	0,9913	
	0.1	297	0,012	0,722	312,5	6,09	0,9973	
	Среднее значение k_1 и k_2		0,025				4.1	
	АН-31							
	0.03	115,5055	0,0149	0,6521	115,5055	2,73	0,9927	
	0.04	123,2262	0,0170	0,6677	123,2262	1,78	0,9966	
	0.05	131,0062	0,0163	0,6659	131,0062	2,59	0,9972	
	0.06	148,8455	0,0172	0,6608	148,8455	1,63	0,9979	
	0.07	174,9676	0,0156	0,630	174,9676	1,18	0,9939	
	0.08	192,4211	0,0175	0,6786	192,4211	8,08	0,9974	
	0.1	217,3694	0,0172	0,7189	217,3694	5,28	0,998	
	Среднее значение k_1 и k_2		0,0165				3,32	
	КУ-2-8-АН-31							
	0.03	140,99448	0,01773	0,6763	140,99448	3,09	0,9898	
	0.04	169,91026	0,01958	0,7138	169,91026	4,33	0,9888	
	0.05	201,37733	0,01935	0,6862	201,37733	4,618	0,9951	
	0.06	216,94151	0,01842	0,6781	216,94151	4,783	0,9956	
	0.07	241,61027	0,01865	0,7091	241,61027	4,435	0,998	
	0.08	267,27895	0,01958	0,6493	267,27895	5,170	0,998	
	0.1	295,12367	0,02073	0,671	295,12367	5,511	0,9985	
	Среднее значение k_1 и k_2		0,01915				4,563	
SCN⁻								

Соответствие кинетики процесса модели псевдотортого порядка свидетельствует о том, что на скорость процесса сорбции влияет не только концентрация ионов меди и роданида, но и концентрация ионогенных групп в ионообменных материалах.

Для дальнейшего анализа механизма адсорбции ионов Cu^{2+} , SCN^- на ионитах АН-31, КУ-2-8 и интерполимерных системах был проведен анализ изотерм адсорбции с использованием современных теорий. Перед построением изотерм, поскольку сорбционная емкость ионитов зависит от pH среды раствора, была изучена адсорбция ионов Cu^{2+} , SCN^- на слабых анионитах АН-31 и КУ-2-8 – функциональных полимерах на основе сульфокатионита – в условиях различных pH сред. Сорбционные процессы на анионитах АН-31 протекают на высоком уровне при pH 4,2. Также было отмечено, что оптимальное значение pH для интерполимерных систем АН-31 – КУ-2-8 составляет 4,2.

Изучено влияние изменения массового соотношения смол АН-31 и КУ-2-8 (6:0; 5:1; 4:2; 3:3; 2:4; 1:5) на адсорбцию при получении интерполимерных систем с дальнедействием. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние молярного соотношения анионита и катионита на адсорбции при получении интерполимерных систем на с основе дальнедействующих взаимодействий.

Время, часы	Соотношение					
	6;0	5;1	4;2	3;3	2;4	1;5
q _e мг/г						
1	162,07	156,37	154,25	241,32	166,79	142,67
2	175,92	168,73	164,35	263,87	176,84	151,68
3	198,82	184,04	179,24	286,41	196,76	169,44
4	216,92	203,73	187,71	263,87	218,89	184,78
5	239,91	217,04	196,20	286,41	234,76	198,79
6	247,23	226,47	203,16	293,59	252,68	227,49
24	256,25	231,72	215,68	295,12	261,74	246,73

В полученных интерполимерных системах с дальним взаимодействием на основе анионита АН-31 и катионита КУ-2-8 высокая эффективность сорбции наблюдалась при молярном соотношении ионитов АН-31 и КУ-2-8 3:3 (т.е. 1:1).

С целью оценки сорбционных свойств полученных одиночных ионообменников и созданных на их основе интерполимерных систем проведено сравнительное изучение адсорбции катионов Cu^{2+} и анионов SCN^- на исследуемых ионообменных системах.

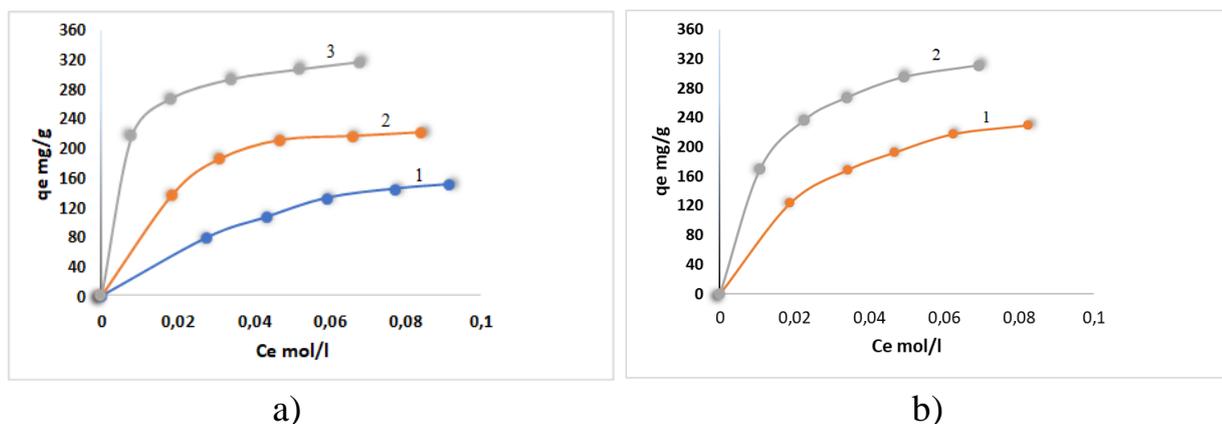


Рис. 5. Изотерма адсорбции иона Cu^{2+} (а) на ионитах 1)КУ-2-8, 2)АН-31, 3)КУ-2-8-АН-31 и иона SCN^- (б) на ионитах 1)АН-31, 2)КУ-2-8-АН-31.

На рисунке 5 представлена изотермы адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- на различных ионообменниках. Видно, что наибольшие значения адсорбции получены для интерполимерных ионообменных систем на основе дальнедействующего взаимодействия, состоящих из катионита КУ-2-8 и анионита АН-31.

Изотермы адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- на ионитах в координатах линейных уравнений моделей Ленгмюра и Фрейндлиха приведены на рисунках 6,7.

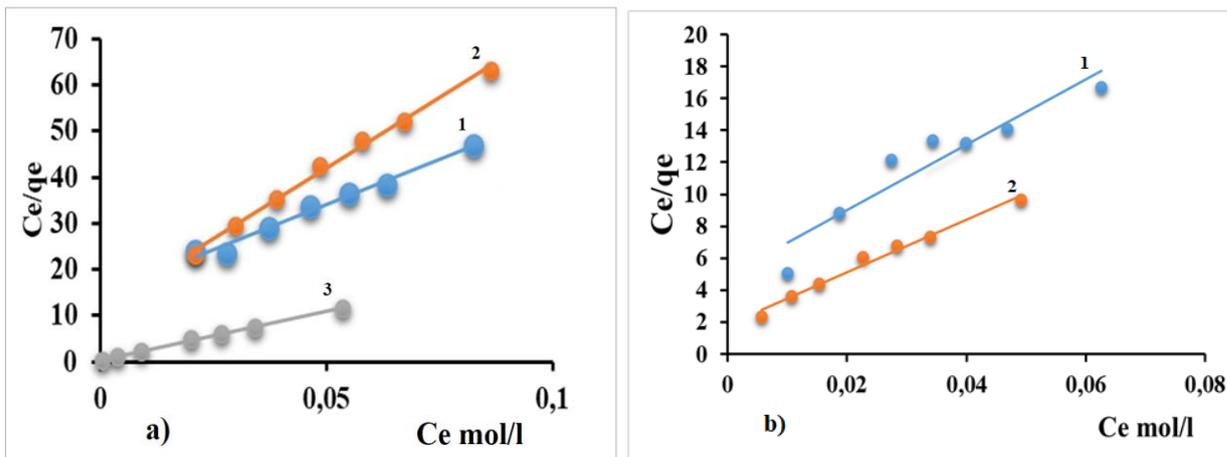


Рис. 6. Адсорбция иона Cu^{2+} (а) на ионитах 1)КУ-2-8, 2)АН-31, 3)КУ-2-8-АН-31 и иона SCN^- (б) на ионитах 1)АН-31, 2)КУ-2-8-АН-31 в координатах линейного уравнения Ленгмюра

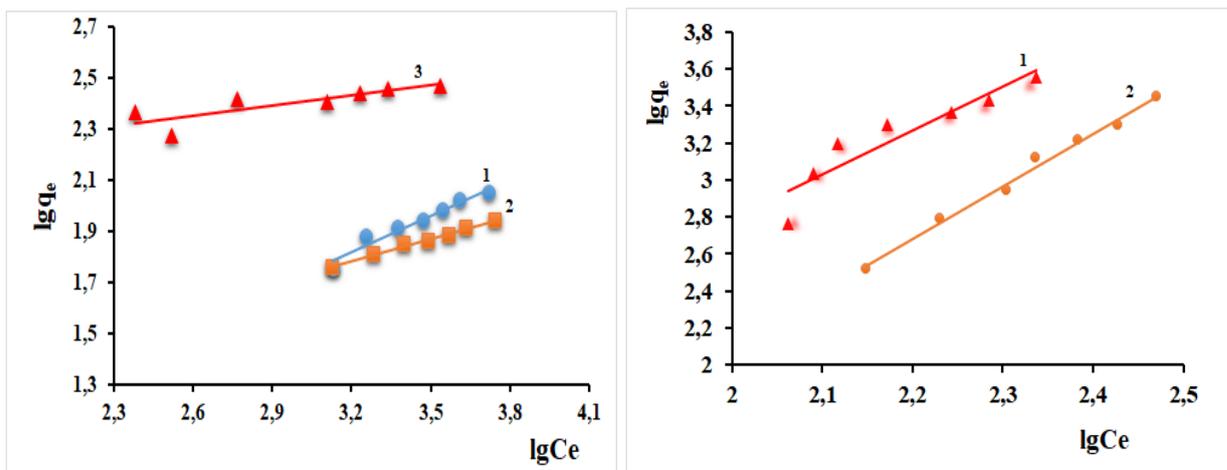


Рис. 7 Адсорбция иона Cu^{2+} (а) на ионитах 1)КУ-2-8, 2)АН-31, 3)КУ-2-8-АН-31 и иона SCN^- (б) на ионитах 1)АН-31, 2)КУ-2-8-АН-31 в координатах линейного уравнения Фрейндлиха.

В таблице 3 представлены результаты расчета изотерм адсорбции по уравнениям Ленгмюра и Фрейндлиха. Значение параметра Фрейндлиха «n» для адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- на ионитах КУ-2-8, АН-31 а так же интерполимерных системах соответственно составляют 1,45; 2,79; 11,76; и 2,76; 2,87. Более высокое значение «n» для интерполимерных систем свидетельствует о лучшей адсорбции на них ионов меди и роданида. Значения коэффициента корреляции R^2 , полученные при расчете изотерм адсорбции по Ленгмюру для ионов Cu^{2+} и SCN^- на всех ионообменных системах выше

значений коэффициента корреляции R^2 , полученных при расчете изотерм адсорбции по Фрейндлиху.

Таблица 3

Значения констант в уравнениях Ленгмюра и Фрейндлиха для адсорбции ионов Cu^{2+} , SCN^- на ионитах АН-31, КУ-2-8 и интерполимерной системе

Иониты	Сорбированный ион	константы Ленгмюра				константы Фрейндлиха		
		q_{\max} мг/г	K_L л/моль	R_L	R^2	n	K_F	R^2
АН-31	Cu^{2+}	145,4	0,002	0,514	0,916	1,45	2,23	0,85
КУ-2-8		216,4	0,012	0,191	0,981	2,79	11,6	0,93
Интер.п система		307,7	0,011	0,026	0,997	11,7	156,4	0,98
АН-31	SCN^-	282,5	0,0008	0,275	0,891	2,76	10,3	0,85
Интер.п система		352,2	0,0015	0,186	0,984	2,87	18,4	0,96

Таким образом, можно видеть, что изотермы адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- на ионитах КУ-2-8 и АН-31, а также в интерполимерной системе лучше описываются моделью изотермы Ленгмюра.

Изменения термодинамических параметров в ходе процессов адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- из искусственного раствора на ионитах КУ-2-8 и АН-31 и интерполимерных системах на их основе в интервале температур от 293 до 313 К представлены в табл. 4. Как видно из таблицы, изменение свободной энергии наибольшее в интерполимерной системе, то есть сродство этой системы к ионам Cu^{2+} и SCN^- наибольшее.

Таблица 4

Термодинамические параметры процесса адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- из искусственных растворов

Иониты	Сорбированный ион	ΔH^0 (Дж/моль)	ΔS^0 (Дж/моль·К)	ΔG^0 (Дж/моль)		
				293 К	303 К	313 К
АН-31	Cu^{2+}	3643	39.5	-6089	-8320	-10392
КУ-2-8		2100	41.5	-8039	-10484	-12066
Интер.п система		958	57.8	-15910	-16564	-17703
АН-31	SCN^-	2124	36.5	-6281	-8832	-9727
Интер.п система		1750	43.1	-9775	-11303	-12155

На рисунке 8 представлен анализ ионитов входящих в состав ионообменной системы после сорбции ионов Cu^{2+} рентген флуоресцентным (ED-XRF) методом.

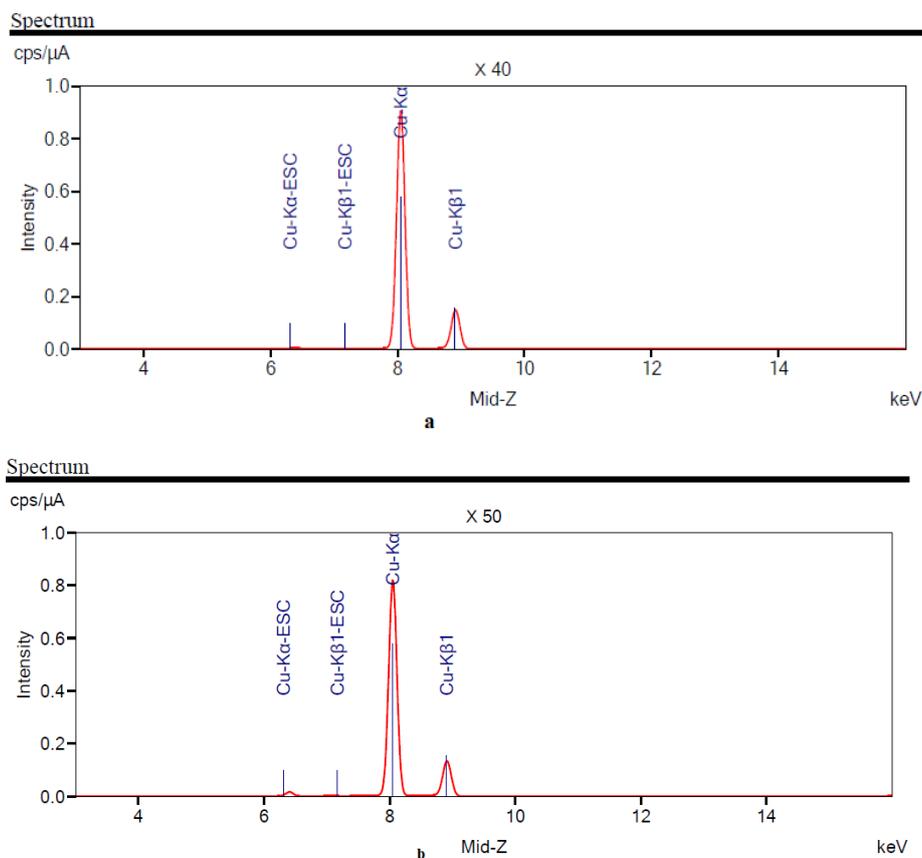


Рис. 8. ED-XRF анализ анионита АН-31 (а) и сульфокатионита КУ-2-8 (б) в интерполимерной системе после сорбции ионов Cu^{2+}

Спектр ED-XRF показывает, что оба ионообменника в интерполимерной системе адсорбируют ионы Cu^{2+} . Интенсивность поглощения ионов Cu^{2+} в сорбентах составляет 455 для анионита АН-31 и 485 для сульфокатионита КУ-2-8. Это означает, что оба сорбента поглощают практически одинаковое количество ионов Cu^{2+} .

Для определения характера связи ионов Cu^{2+} с ионитами были измерены инфракрасные (ИК) спектры ионитов и ионитов, содержащих ионы Cu^{2+} (рисунке 9). В анионите АН-31 ионы Cu^{2+} связаны с атомом азота через ионы SO_4^{2-} , о чем свидетельствует резкое увеличение интенсивности пиков в области $3250, 1030 \text{ см}^{-1}$. Полоса поглощения при 610 см^{-1} указывает на образования связи между ионом металла и атома кислорода сульфогруппы. В сульфокатионите КУ-2-8 ионы Cu^{2+} связаны с сульфоновыми группами посредством ионной связи, о чем свидетельствует появление или увеличение интенсивности пиков в области $3150, 1120, 1000$ и 620 см^{-1} .

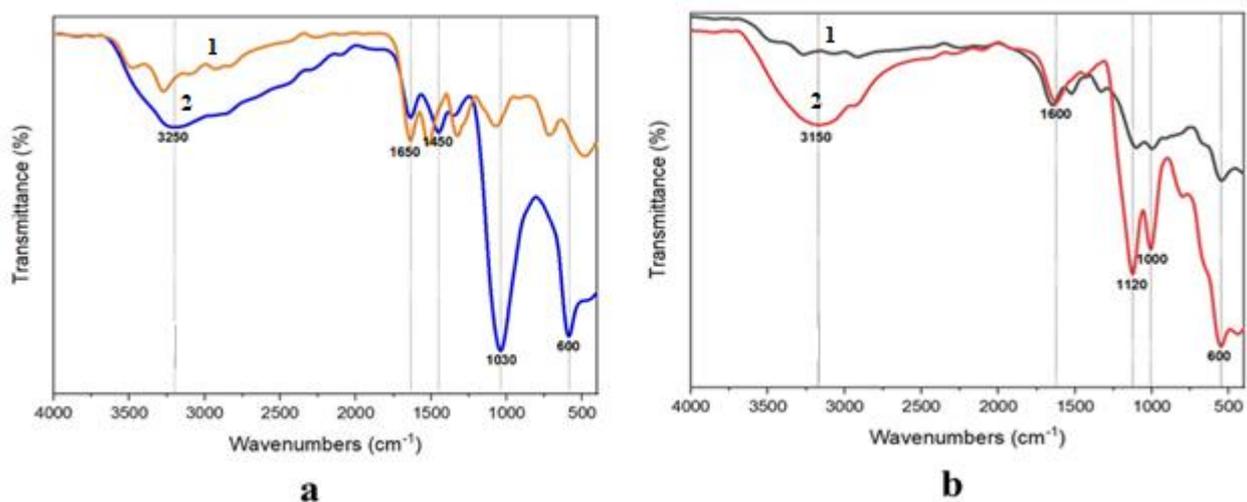


Рис. 9. Инфракрасные спектры АН-31(2) (а) с анионообменником АН-31(1) и ионами Cu^{2+} и КУ-2-8(2) (б) с катионообменником КУ-2-8 (1) и ионами Cu^{2+}

Поскольку в промышленности разделение различных ионов из растворов с помощью ионообменников осуществляется преимущественно динамическим способом, была исследована динамическая адсорбция ионов меди и роданида в интерполимерных системах. Установлено, что ДАС прибора для ионов меди = 139,7 мг/г, а для роданида = 142,9 мг/г.

Создана и испытана установка очистки сточных вод на основе интерполимерных систем и испытана для очистки сточных вод АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК». Испытание проводилось совместно с сотрудниками отдела «Контроль сточных вод» АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК» для адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- из сточных вод и при этом удалось уменьшить количество этих ионов до предельно допустимых концентраций. Процессы сорбции и десорбции для очистки сточных вод от ионов Cu^{2+} и SCN^- в устройстве на основе испытуемой интерполимерной системы повторно проводили 10 раз, при этом сорбционные свойства интерполимерной системы практически не изменялись. Для десорбции сорбированных ионов Cu^{2+} использовали 5% - ный водный раствор H_2SO_4 , а для десорбции ионов SCN^- – 4% - ный раствор NaOH .

Для проведения эксперимента 1000 л сточных вод пропускали через колонку объемом 1 л, заполненную ионообменным материалом. В результате пропускания сточных вод предприятия через устройство, созданное на основе интерполимерных систем, количество ионов Cu^{2+} снизилось с 7,8 мг/л до 0,2 мг/л, а количество ионов SCN^- – с 5 мг/л до 0,05 мг/л. В результате сточные воды предприятия перестали оказывать негативное воздействия на экологию окружающей среды.

Для исследования влияния вновь полученной интерполимерной системы на другие ионы была изучена адсорбция ионов ReO_4^- на анионите АН-31 и в системе. Для нахождения величины адсорбции была определена концентрация ионов ReO_4^- в исходном и после адсорбционном растворах методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Согласно полученным результатам, количество

перренат-ионов в растворе, обработанном интерполимерной системой (2514 ppm), было почти в 3 раза ниже (7885 ppm), чем в растворе, обработанном анионитом АН-31 (рисунке 10).

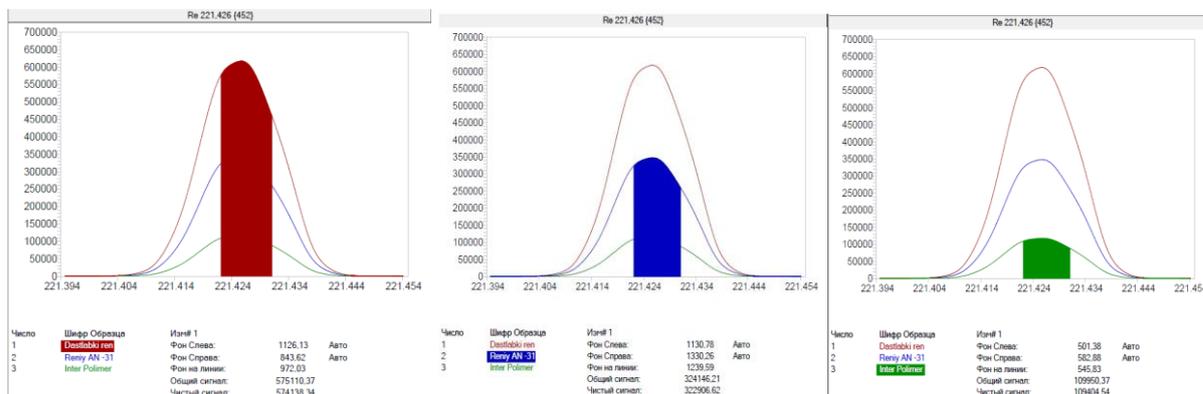


Рис. 10. Атомно-эмиссионный спектроскопический анализ ионов ReO_4^- в исходной (а) и после адсорбции в анионите АН-31 (б) и интерполимерной системе (в).

ВЫВОДЫ

1. Предложены оптимальные условия получения новой интерполимерной системы с дальнедействующим взаимодействием на основе промышленных ионитов: анионита АН-31 (в OH^- -форме) и катионита КУ-2-8 (в H^+ -форме) в мольном соотношении 1:1, частицы ионита необходимо разместить на расстоянии 0,5 см друг от друга, что больше молекулярного радиуса, и активировать промывкой дистиллированной водой в течение 48 часов.
2. Отмечено, что оптимальной средой для адсорбции ионов Cu^{2+} из водных растворов на анионите АН-31, катионите КУ-2-8 и интерполимерных системах на их основе является рН среды 4,2.
3. Установлено, что кинетика сорбции ионов Cu^{2+} на ионитах АН-31, КУ-2-8 и интерполимерных системах соответствует кинетической модели псевдвторого порядка, причем доказано, что на скорость реакции (несмотря на её гетерогенность) влияет не только концентрация поглощаемых ионов, но и концентрация функциональных групп в ионите.
4. Изучена кинетика сорбции ионов SCN^- на ионитах АН-31, КУ-2-8 и интерполимерных системах на их основе и установлено, что полученные результаты, как и процесс адсорбции ионов меди, соответствуют кинетической модели псевдвторого порядка.
5. В результате исследования влияния температуры и концентрации адсорбированных ионов на адсорбцию ионов меди и роданида на ионообменниках АН-31, КУ-2-8 и интерполимерных системах построены изотермы адсорбции и установлено, что их ход в большей степени соответствует линейному уравнению Ленгмюра.
6. Рассчитана термодинамика процесса адсорбции ионов Cu^{2+} и SCN^- на анионите АН-31, катионите КУ-2-8 и их интерполимерной системе и

установлено, что наибольшее изменение свободной энергии наблюдается в интерполимерной системе, а также высокое сродство этой системы к ионам Cu^{2+} и SCN^- позволяет рекомендовать ее для использования при извлечении ионов Cu^{2+} и SCN^- из сточных вод на АО «МАКСАМ-ЧИРЧИК».

**THE ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE
SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/30.12.2019.K.01.03 AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

USMONOVA XURSHIDA

**INTERPOLYMER SYSTEMS BASED ON LONG-RANGE
INTERACTIONS OBSERVED BETWEEN POLYELECTROLYTES**

02.00.06 – High molecular compounds

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

Tashkent – 2025

The title of Doctor of Philosophy (PhD) has been registered by the Supreme attestation commission at the Ministry of the Higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan under the number of B2024.1.PhD/K774

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

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, and English (resume)) is available online at ik-kimyo.nuu.uz and the website of "ZiyoNET" information educational portal www.ziynet.uz.

Scientific supervisor: **Mukhtarjan Mukhamediev Ganievich**
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Official opponents: **Rafikov Adxam Salimovich**
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Kutlimurodov Nurbek Matkarimovich
PhD, Associate Professor

Leading organization: **Tashkent Institute of Chemical Technology**

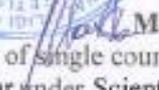
The defense of the dissertation will take place on «25» December 2025 in «9:30» at the meeting of the one-time scientific council based on the Scientific council 03/30.12.2019.K.01.03 at the National University of Uzbekistan (Address: 100174, Tashkent, street Universitetical 4. Ph.: (99871)227-12-24, Fax: (99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: ilmiy-kengash@nuu.uz).

The doctoral dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of the National University of Uzbekistan under № 226 (Address: 100174, 4 University Street, Tashkent, Administrative Building of the National University of Uzbekistan, tel.: (99871) 246-67-71).

The abstract of the dissertation has been distributed on «16» December 2025 year
Protocol at the register № 35 dated «16» December 2025 year


Z. Smanova
Chairman of single council at Scientific
Council for awarding the scientific degree
of Doctor of Sciences, Doctor of
Chemical Sciences, professor


N. Qutlimurotova
Scientific Secretary of single council at
Scientific Council for awarding the
scientific degree of Doctor of
Sciences, Doctor of Chemical Sciences,
professor


M.A. Maxkamov
Chairman of single council at Scientific
Seminar under Scientific Council for
awarding the scientific degree of Doctor of
Sciences, Doctor of Chemical Sciences,
professor

INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy (PhD) thesis)

The aim of investigation: It consists of studying the production and application of interpolymer systems based on long-range interactions observed between polyelectrolytes.

Objects of investigation: were ion exchangers AN-31, KU-2-8, interpolymer system AN-31-KU-2-8, salts of copper sulfate, ammonium thiocyanate and ammonium perrhenate.

The scientific novelty of the research is as follows: any new

It was established that the interpolymer system, based on long-range interactions, has a higher sorption property than the individual ion exchangers. To elucidate the mechanism of this process, the electrical conductivity of the ion exchangers and the interpolymer system based on them in an aqueous medium was studied. It was found that the created system has a higher electrical conductivity. This is explained by the formation of H₂O molecules with OH⁻ ions in the anion exchanger and H⁺ ions in the cation exchanger and, as a result, an increase in the number of charged groups in the ion exchangers;

The kinetics of adsorption of copper cations and thiocyanate anions on ion exchangers and an interpolymer system was studied and it was established that the rate of the adsorption process obeys a pseudo-second-order kinetic model, which means that the reaction rate is affected not only by the concentration of copper and thiocyanate ions in the solution, but also by the concentration of functional groups in the polymer;

The adsorption isotherms of copper cation and thiocyanate anion on individual ion exchangers and on an interpolymer system were studied. The obtained results showed that the behavior of the isotherms for all studied ion exchange systems corresponds to the Langmuir model;

The physicochemical properties of a new interpolymer system based on functional polymers, the dynamic sorption and desorption of copper and thiocyanate ions on the interpolymer system were studied, and the possibility of multiple use of the interpolymer system was demonstrated;

It has been established that in interpolymer systems the process of sorption of anions occurs only due to the anion exchanger included in the system, whereas for cations the sorption process occurs both due to the cation exchanger and due to the anion exchanger.

Implementation of research results.

On a scientific basis, the results obtained in the study of the physicochemical properties of a new interpolymer system with long-range interactions using industrial ion exchangers:

A wastewater treatment plant based on interpolymer systems made of industrial ion exchangers was created and implemented for the treatment of wastewater from Cu²⁺ ions at JSC MAXAM-CHIRCHIK (certificate No. 30-2/34 of JSC MAXAM-CHIRCHIK dated May 21, 2025). As a result, it was found that the amount of copper ions in the plant's wastewater decreased from 7.8 mg/L to 0.2 mg/L.

A wastewater treatment plant based on interpolymer systems made of industrial ion exchangers was created and implemented for the treatment of wastewater from SCN^- ions at the JSC "MAXAM-CHIRCHIK" plant (certificate No. 30-2/35 of JSC "MAXAM-CHIRCHIK" dated May 21, 2025). As a result of the implementation, it was found that the concentration of thiocyanate ions in the wastewater decreased from the initial 5 mg/l to 0.05 mg/l. This indicates that the purity of the wastewater discharged by the enterprise meets the requirements of the Committee for Nature Protection and does not have a negative impact on the environment, while also providing a socio-economic effect.

The structure and volume of the dissertatsion. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and an appendix. The dissertation is 104 pages long.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Мухамедиев М.Г., Усманова Х.Х., Бекчанов Д.Ж. “Сравнительное изучение адсорбции ионов Cu(II) из водных растворов промышленными ионитами и ионообменными системами на их основе” Сорбционные и хроматографические процессы. 2025.- № 4. С. 540-547. (Q-4)
2. Usmonova X.X., Muhamediyev M.G. “AN-31 anion almashinuvchi materialga Cu(II) ionlari sorbsiyasi” FarDU ilmiy xabarlar. 2025.-№ 2. В. 104-108. (02.00.00. № 17)
3. Fayzullayev Y.S., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G., Murtozaqulov M.R., Usmonova X.X.. Tarkibida amino va fosfon guruh saqlagan yangi avlod ion almashinuvchi materiali olish FarDU ilmiy xabarlar. 2025.- № 2. В. 53-56. (02.00.00. № 17)
4. Абдуллаева Н.А., Ботиров С.Х., Усмонова Х.Х., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. Сорбция катионов свинца природными волокнами: Universum. Химия и Биология. Выпуск: 11(125). 2024.- № 2. С. 6-10. (02.00.00. № 2)
5. Usmonova X.X., Eshtursunov D.A., Botirov S.X., Muxamediyev M.G., Bekchanov D.J. “Uzoq tartibdagi ta'sirlashuvga asoslangan ion almashinuvchi materiallar yordamida suvli eritmalardan Cu(II) ionlarini samarali ajratib olish” Композиционные материалы Узбекский научно-технический и производственный журнал. 2024.- № 4. В. 23-25. (02.00.00. № 4)
6. Usmonova X.X., Botirov C.X., Fayzullayev Y.S., Muxamediyev M.G. “Ion almashuvchi materiallar yordamida nodir metallarni ajratib olish (sharxiy maqola)” Композиционные материалы Узбекский научно-технический и производственный журнал. 2023.- № 3. В. 224-227. (02.00.00. № 4)

II bo'lim (II часть; II part)

7. Usmonova X.X., Muhamediyev M.G. “Cu(II) ionlarini sanoat chiqindi suvlari tarkibidan ajratib olish” Kimyo fanining muammolari, sanoat sohalariga tatbiqi va yashil texnologiyalar mavzusidagi xalqaro anjuman -Namangan. 18-19 aprel 2025 yil. – В. 686-688.
8. Usmonova X.X., Muhamediyev M.G. “Inter polimer sistema yordamida suvli eritmalar tarkibidan Cu(II) ionlarini samarali ajratib olish” Узбекско-Таджикский Симпозиум с Международным участием «Современное состояние и перспективы развития науки о полимерах: синтез, структура, свойства и применение», Ташкент, 24-25 октября 2024 г. – В. 88-90.
9. Усмонова Х.Х., Ярманов Ш.Х., Ботиров С.Х., Абдуллаева Н.А., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. “Кинетика сорбции ионов Cu(II) катионитом КУ-2-8” Девятая всероссийская каргинская конференция «полимеры. - Москва. Россия 1-3 июля. -2024. –С 547-548.

10. Usmonova X.X., Murtozaqulov M.R., Fayzullayev Y.S., Bekchanov D.J., Mukhamediev M.G. “Uzoq tartibdagi ta’sirlashuvga asoslangan ion almashuvchi sistemaga Cu(II) ionlari sorbsiyasi” «Innovatsion texnika va texnologiyalarning qishloq xo`jaligi, oziq-ovqat tarmog`idagi muammo va istiqbollari» mavzusidagi IV Xalqaro ilmiy-texnik anjumanining ilmiy ishlar to‘plami 26-27 aprel. Toshkent. – 2024. –B. 12-14.
11. Усманова Х.Х., Ботиров С.Х., Бегманова С.Б., Мухамедиев М.Г. “Ионообменные системы для сорбции редких и благородных металлов” Функционал Полимерларнинг фундаментал ва амалий жиҳатлари Халқаро илмий-амалий конференция. -2023. -Toshkent. –С. 877-881.
12. Usmonova X.X., Muhamediyev M.G. “Uzoq tartibdagi ta’sirlashuvga asoslangan ion almashuvchi sistemaga Cu(II) ionlari sorbsiyasi” “NAVOIAZOT” AJ 60 yilligiga bag‘ishlanadi. “O‘zbekistonda ilm-fan, kimyoviy texnologiya va ishlab chiqarish istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. 15-noyabr. -2024. –B. 686-688.
13. Usmonova X.X., Eshtursunov D.A, Botirov S.X., Fayzullayev Y.S., Bekchanov D.J., Mukhamediev M.G. “KU-2-8 kationitiga Cu(II) ionlari sorbsiya kinetikasi” Termoreaktiv oligomerlar, polimerlar saqlovchi chiqindilar, polifunksional birikmalar va ular asosida polimer materiallar yaratishning istiqbollari» mavzusidagi k.f.d., prof. F.A. Magrupovning 80-yillik xotirasiga bag‘ishlangan Respublika ilmiy-amaliy anjumanining ilmiy ishlar to‘plami 18-19 yanvar. Toshkent. – 2024. –B. 295-296.
14. Мухамедиев М.Г., Бекчанов Д.Ж., Ботиров С., Файзуллаев Ю., Усманова Х., Бободжанова Г. “Ионообменные сорбенты на основе сырья используемого химической промышленностью Узбекистана” Современные проблемы науки о полимерах Казахско -Узбекского Симпозиума Алматы. -2023. –С. 213-216.
15. Botirov S.X., Usmonova X.X., Murtozaqulov M.R., Bekchanov D.J., Muhamediyev M.G. “AB-17-8 anioniti yordamida suniy eritmalardan xrom (VI) ionlari sorbsiyasini tadqiq qilish” Zamonaviy organik kimyo yutuqlari, muammolari, yechimlari mavzusidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman. -Toshkent. -2024. 20-21 sentabr. –B. 198-200.
16. Yarmanov Sh., Bobojanova G., Usmonova X.X. “Cu²⁺ ion isotherms and thermodynamic analyzes of biosorbent obtained on the basis of rice husk” Innovative developments and research in education International scientific - online conference. -Canada. -2023. –P. 56-98.