

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

BOTIROV SUNNATJON XUDOYBERDI O‘G‘LI

**SANOATDA QO‘LLANILUVCHI IONITLAR VA ULAR ASOSIDAGI
INTERPOLIMER TIZIMLARGA Cr(VI) IONLARI SORBSIYASI**

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**

Botirov Sunnatjon Xudoyberdi o‘g‘li

Sanoatda qo‘llaniluvchi ionitlar va ular asosidagi interpolimer tizimlarga
Cr(VI) ionlari sorbsiyasi 3

Ботиров Суннатжона Худойберди угли.

Сорбция ионов Cr(VI) промышленными ионитами и
интерполимерными системами на их основе 21

Botirov Sunnatjon

Sorption of Cr(VI) ions by industrial ion exchangers and interpolymer
systems based on them 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 45

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

BOTIROV SUNNATJON XUDOYBERDI O‘G‘LI

**SANOATDA QO‘LLANILUVCHI IONITLAR VA ULAR ASOSIDAGI
INTERPOLIMER TIZIMLARGA Cr(VI) IONLARI SORBSIYASI**

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 kamissiyasida B2024.1.PhD/K724 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.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Muxamediyev Muxtarjan Ganiyevich**
kimyo fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: **Yunusov Haydar Ergashovich**
texnika fanlari doktori, professor

Qutlimuratov Nurbek Matkarimovich
kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori, 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 "15"-mart soat 9:00 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 (16 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 "____" ____ kuni tarqatildi.

(2025-yil "____" ____ dagi ____ raqamli reyestr 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.Mahkamov

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. Jahon iqtisodiyotining jadal sur'atlarda rivojlanishi, aholi sonining ortishi, sanoat korxonalarining kengayishi hamda ularning faoliyati natijasida atrof-muhit obyektlarida og'ir va zaharli metal ionlarining miqdori ortib bormoqda hamda ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. Ayniqsa, galvanik sexlar, terini oshlash korxonalarining ajralib chiqadigan oqava suvlar tarkibida og'ir va zaharli metall ionlarining miqdori ruxsat etilgan normadan oshib bormoqda. Bu muammolarni bartaraf etishda, suvni samarali tozalashda ion almashinuvchi materiallardan keng foydalaniladi, ionitlar o'zining kimyoviy, mexanik, termik barqarorligi, ko'p marta ishlatilishi, boshqa tozalash usullaridan arzon va samaraliligi sababli muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Dunyoda sanoat ion almashinuvchi materiallar asosida uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan inter polimer tizimlarni olinishiga, fizik-kimyoviy xossalarini yaxshilashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shu asosida inter polimer tizimlar olinishining sharoitlarini optimizatsiyalash, ekspluatatsion samaradorligini, kimyoviy va termik barqarorliklarini oshirish, fizik-kimyoviy xossalarini yaxshilash, og'ir va zaharli metall ionlarini sorbsion xossalarini oshirish hamda sanoatga tadbqiq qilish, ion almashinuvchi materiallar ishlab chiqarishda tannarxini kamaytirishda muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Bugungi kunda Respublikamizda samarali ion almashinadigan materiallarga bo'lgan talabning yuqoriligi tufayli sanoatda qo'llanadigan ionitlarning kimyoviy, fizik-kimyoviy xossalarini hamda ishlatilish sohalarini o'rganish va amaliyotga joriy etilishi bo'yicha bir qator ilmiy izlanishlar amalga oshirilmoqda. "2022-2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"¹gi qarorida "Mahalliy ionitlar yordamida galvanik sexlarning oqava suvlarini zaharli xrom ionlaridan tozalash"ga yo'naltirilgan muhim vazifalar belgilab berilgan. Shu maqsadda sanoat ionitlari asosida uzoq tartibdagi ta'sirlarga ega bo'lgan inter polimer tizimlarni olish, olingan tizimlarni fizik-kimyoviy va sorbsion xossalarini o'rganish hamda ularni qo'llab sanoat oqava suvlarini kimyoviy tozalash asosiy masalalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 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, 2018-yil 25-oktyabrdagi PQ-3983-son "O'zbekiston Respublikasi kimyo sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida", 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-son "Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarorlari ijrosini ta'minlashda, mazkur faoliyatga tegishli bo'lgan boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilab qo'yilgan

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

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 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 xil ion almashinuvchi funksional polimer materiallarni sintez qilish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Olingan ion almashinuvchi materiallarni sanoat korxonalaridan chiqayotgan og‘ir va zaharli ionlarni tozalashda qo‘llab kelmoqdalar. Buning natijasida Cr(VI) ionlarini samarali yo‘qotish va ekologik muammolarning oldini olishga o‘z hissalarini qo‘shmoqdalar. Xususan, xorij olimlaridan 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 hamda tabiiy polimerlardan olingan anionitlarga Cr(VI) ionlarining sorbsiya mexanizmlarini, fizik-kimyoviy xossalari hamda qo‘llanish sohalarini o‘rganishgan.

Mamlakatimizda ham ionitlar sintezi, fizik-kimyoviy xossalari o‘rganish bo‘yicha O‘.N.Musayev, M.A.Askarov, S.Sh.Rashidova, A.T.Jalilov, S.M.Turabjonov, X.A.Akbarov., T.M.Babayev, X.T.To‘rayev, O.N.Ro‘zimurodov, D.A.Gafurova, D.J.Bekchanov, N.T.Kattayev, 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 Cr(VI) ionlarini sorbsiyasini o‘rganish usullari keltirilgan. Lekin sanoat ionitlari va ular yordamida uzoq tartibli ta’sirlashuvga asoslangan interpolimer tizimlar olishning mexanizmlari, olingan uzoq tartibli ta’sirlashuvga asoslangan interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionlarining 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 AL-552101242 “Polivinilxlorid asosida amino va gidroksil guruhlar tutgan yangi ionitlarning olinishi hamda oqava suvlarini Cr(VI) ionlaridan tozalashda qo‘llanilishi” (2022-2025-yy.) amaliy loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Sanoatda qo‘llaniluvchi ionitlar va ular asosidagi interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionlari sorbsiyasini tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

sanoat ionitlari asosida uzoq tartibli ta’sirlashuvga ega interpolimer tizimlar olishning maqbul sharoitlarini aniqlash;

mahalliy va sanoat ionitlari hamda ular asosida olingan interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionitlarining adsorbsiyalanish jarayoni kinetikasini tadqiq qilish;

mahalliy va sanoat ionitlari hamda ular asosida olingan interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionitlarini adsorbsiyalanish izotermalarini tadqiq qilish va jarayon termodinamik parametrlarini asoslash;

Cr(VI) ionlarini adsorbsiya qilgan ion almashinuvchi materiallarning fizik-kimyoviy xossalarini tadqiq qilish;

funksional polimer materiallar asosida olingan interpolimer tizimlar va sanoatda ishlab chiqariladigan ionitlarning qo'llanilish imkoniyatlarini aniqlash.

Tadqiqotning obyekti sifatida PPE-1, AN-31, AB-17-8, KU-2-8 ionitlari, interpolimer tizimlar va bixromat tuzlari olingan.

Tadqiqotning predmeti adsorbsiya, desorbsiya, regeneratsiya, kinetika, izoterma, termodinamika, IQ- va Raman spektroskopiya, spektrofotometriya, XRF analiz.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlar jarayonida zamonaviy nazariy va eksperimental tadqiqot usullari, jumladan, IQ- va Raman spektroskopiya, termogravimetrik analiz, differensial kalorimetrik termik analiz, element analiz, spektrofotometriya, energiya-dispersion rentgen spektroskopiya, rentgen fazaviy o'zgarishlar, rentgen flouressent spektroskopiya kabi eksperimental usullaridan; adsorbsiya jarayonlarini o'rganishda izotermalarni Lengmyur va Freyndlix modellari bilan tahlil qilish hamda psevdobirinchi va psevdodikkinchi tartibli kinetik modellari yordamida adsorbsiya kinetikasini ifodalash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

AB-17-8 va KU-2 sanoat ion almashinuvchi polimer materiallari asosida, individual ionitlarga nisbatan elektr o'tkazuvchanligi yuqori, kuchli ionlangan yangi uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan interpolimer tizim yaratilgan.

Anionitlar va interpolimer tizimga dixromat ionlari adsorbsiyasining kinetikasi, tadqiq qilingan va adsorbsion jarayon tezligi psevdodikkinchi tartibli kinetik modelga mos ekanligi keltirilgan, demak, jarayon geterogen bo'lishiga qaramasdan reaksiya tezligiga dixromat ionlari konsentratsiyasidan tashqari polimer tarkibidagi funksional guruhlar konsentratsiyasi ham ta'sir etgan.

Yakka holdagi anionitlarga hamda interpolimer sistemaga dixromat ionlarining adsorbsiya izotermalari tadqiq qilingan, olingan natijalar izotermalarning borishi PPE-1, AN-31 anionitlar uchun Freyndlix, AB-17-8 va AB-17-8 hamda KU-2 funksional polimerlar asosidagi interpolimer sistemalar uchun Lengmyur modeliga mos kelishi ko'rsatilgan.

Funksional polimerlar asosida olingan yangi interpolimer tizimning fizik-kimyoviy xossalari baholangan va interpolimer tizimning dixromat ionlariga nisbatan sorbsion sig'imi yakka holdagi PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlarga qaraganda yuqori ekanligi aniqlangan.

Interpolimer tizimlarni yakka holdagi anionitlarga qaraganda sorbsion sig'imi yuqoriligi anionit funksional guruhlarini interpolimer tizimdagi kationit sulfoguruhlari ta'sirida faollanishi bilan tushuntirilgan. EDXRF tahlil dixromat ionlarini faqat anionit funksional guruhlar tomonidan yutulishini, kationit funksional guruhlar adsorbsiya jarayonida qatnashmasligi dalillangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Sanoat ionitlari AB-17-8 anioniti va KU-2 kationiti asosida uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan interpolimer tizim olishning maqbul sharoitlari topilgan. Uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan interpolimer tizim yordamida zaharli

Cr(VI) ionlaridan oqava suvlarni samarali tozalash imkoniyati mavjudligi aniqlangan;

olingan interpolimer tizim yordamida “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ ning markaziy mexanik ta’irlash zavodi hamda Muborak gazni qayta ishlash zavodi galvanik sexlaridan chiqayotgan oqava suvlar tarkibidagi Cr(VI) ionlarini yuqori unum bilan ajratib olishi ko’rsatilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi IQ, Raman spektroskopiya, termogravimetrik, differensial kolorimetrik termik analiz, spektrofotometriya, rentgen fazaviy o’zgarishlar, rentgen flouressent spektroskopiya kabi zamonaviy usullar qo’llanishi bilan aniqlanadi. Ion muvozanat, adsorbsiya jarayonlar kinetikasi esa psevdobirinchi va psevdodikinchi tartibli kinetik modellar yordamida tavsiflangan; adsorbsiya izotermasi esa Lengmyur va Freyndlix modellari tenglamalari bilan hisoblangan, adsorbsiya termodinamikasi haqidagi zamonaviy nazariyalarda keltirilgan va tenglamalar yordamida tadqiqotning amaliy qismidan olingan natijalarni qo’yib tahlil qilish orqali tegishli xulosalar chiqarilgan hamda matematik-statistik usullari bilan qayta hisoblash orqali ko’rsatilgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati AB-17-8 anioniti va KU-2 kationitini ma’lum bir masofada ushlab hamda elektr o’tkazuvchanligini o’lchash orqali uzoq tartibli ta’sirlashuvga asoslangan yangi interpolimer tizimlarni olishning ilmiy asoslarini yaratish hamda dixromat ionlarini sorbsiyasini kinetika va izotermalarini tadqiq qilish orqali interpolimer tizimlarning afzalligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati AB-17-8 anioniti va KU-2 kationiti asosida olingan interpolimer tizimlar individual ionitlarga qaraganda sanoat oqava suvlari tarkibidagi zaharli xrom (VI) ionlaridan yuqori unum bilan tozalash imkoniyatiga egaligi bilan aniqlanadi. Bu ularni esa 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:

Funksional polimerlar asosida “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJda Interpolimer tizimlarga asoslangan oqava suvlarni tozalash qurilmasi yaratilgan hamda yaratilgan interpolimer tizimlar asosidagi qurilma “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ ning markaziy mexanik ta’irlash zavodining “Galvanik sexi”dan chiqayotgan oqava suvlarni Cr(VI) ionlaridan tozalash uchun joriy qilingan (“Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ ning 2024-yil 17-oktyabrdagi № 01-02-5-XX-24-10-0129-sonli ma’lumotnomasi). Natijada kombinat chiqindi suvida mavjud bo’lgan dixromat ionlarining miqdori 50 mg/l dan 0.05 mg/l gacha kamayganligi aniqlangan.

Muborak gazni qayta ishlash zavodidan interpolimer tizimlarga asoslangan oqava suvlarni tozalash qurilmasi yaratilgan. Yaratilgan interpolimer tizimlar asosidagi qurilma Muborak gazni qayta ishlash zavodidan chiqayotgan oqava suvlarni Cr(VI) ionlaridan tozalash uchun joriy qilingan (2024-yil 21-oktyabrdagi № 873/G’K-10 sonli ma’lumotnomasi). Natijalar joriy qilinishi asosida oqava suvi tarkibida Cr(VI) ionlari konsentratsiyasi dastlabki 10 mg/l dan 0,03 mg/l gacha

kamayganligi aniqlandi, bu esa korxonadan chiqayotgan oqava suvlarning tozaligi tabiatni muhofaza qilish qo‘mitasi talablariga mos kelishini bildiradi va tashqi muhit ekologiyasiga salbiy ta‘sir qilmasligiga xizmat qiladi hamda ijtimoiy-iqtisodiy samara beradi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari asosida 16 ta, jumladan, 9 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma‘ruza qilingan hamda muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 20 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 2 ta maqola respublika, 2 ta (1 ta Scopus) maqola xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyasi tarkibi kirish, uchta bob, xulosa, adabiyotlar ro‘yxati, ilovadan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 112 sahifani tashkil qilgan².

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya ishining dolzarbligi, yangiligi va zarurligi ko‘rsatib berilgan, tadqiqotning maqsadi, vazifalari keltirilib, obykti 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 **“Xrom (VI) ionlarining turli ion almashinuvchi sorbentlar bilan adsorbsiyasi qonunyatlarini (adabiyotlar sharhi)”** deb nomlangan birinchi bobida, sanoat korxonalarida oqava suvlari bilan birgalikda atrof-muhitga chiquvchi metal ionlarining zararlari hamda zaharli dixromat ionlarining o‘simliklar dunyosiga, hayvonot olamiga, inson organizmiga hamda tabiatga keltiradigan salbiy ta‘sirlari sharhlangan. Sanoat oqava suvlari turli xil tabiiy, sintetik, granulalangan, membranali, tolasimon polimerlarni modifikatsiyalab tarkibida funksional ionagen guruhi mavjud bo‘lgan ion almashinuvchi materiallarga Cr(VI) ionlarining adsorbsiyasi ko‘rib chiqilgan. Zaharli dixromat ionlarini turli xil funksional ion almashinuvchi materiallar yordamida adsorbsiya kinetikasi, izotermasi, termodinamik qonunyatlarini, dixromat ionlarini adsorbsiyasi natijasida ionitlarda kuzatiladigan fizik-kimyoviy o‘zgarishlar va sanoatda qo‘llanilish sohalari o‘rganildi.

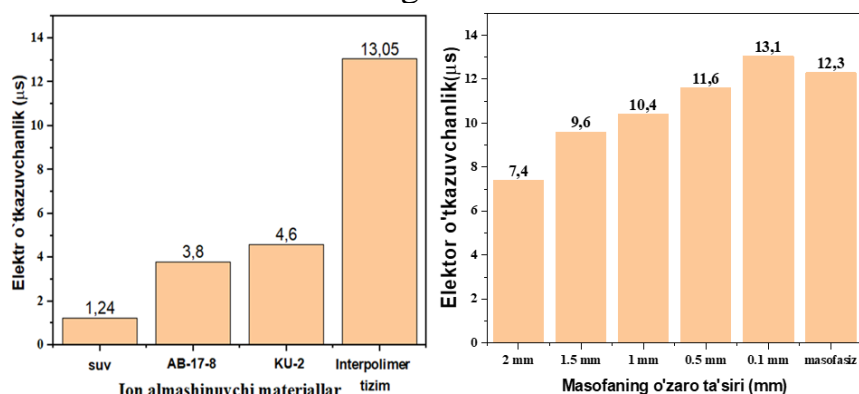
Ion almashinuvchi materiallarning o‘ziga xosligi, selektivligi, qo‘llanilish sohaslarining kengligi, kimyoviy, termik barqarorligi, katalitik, sorbsion xossalari yuqoriligi o‘rganilgan. Mazkur tadqiqot ishida nazariy va amaliy

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

natijalarning tahlili asosida vazifalar belgilab olingan. Tadqiqot mavzusining dolzarbligi hamda zarurligi asoslangan, belgilab olingan vazifalar, xossalarga ion almashinuvchi materiallarning ahamiyati hamda zaruriyati to'g'risida xulosalar keltirilgan. Jahon va respublikamiz olimlari tomonidan ishlab chiqarish korxonalarida oqava suvlari tarkibidagi zaharli dixromat ionlaridan tozalash, atrof-muhit va ekologiyaga salbiy ta'sirini sezilarli darajada kamaytirishda ion almashinuvchi materiallarning keng ko'lamda qo'llanilishi, o'zni va ahamiyati bo'yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar ushbu bobda ko'rsatib o'tilgan.

Dissertatsiyaning **“Funksional polimerlar asosida yangi interpolimer tizimlarning olinishi, sorbsion va fizik kimyoviy xossalari”** deb nomlangan ikkinchi bobida, funksional polimerlar AB-17-8 anioniti va KU-2 kationiti ishtirokida uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan interpolimer tizimlarning olinish qonuniyatlari, PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari hamda interpolimer tizimlarga dixromat ionlarining adsorbsiya kinetikasi, izotermasi, termodinamik qonuniyatlari va dixromat ionlarining adsorbsiyasidan keyin ion almashinuvchi materiallarning fizik-kimyoviy xossalari tahlil qilingan.

Dastlab sanoat miqyosida ishlab chiqariladigan funksional polimerlar AB-17-8 anion almashinuvchi qatronlari hamda KU-2 kation almashinuvchi qatronlari asosida yangi uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega bo'lgan interpolimer tizimlarni olishda turli xil fizik-kimyoviy qonuniyatlari, massa ta'siri, 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 va interpolimer tizimlarning distillangan suvdagi elektr o'tkazuvchanlik xossasi hamda interpolimer tizimlarning o'zaro bir-biri bilan joylashgan masofalarini kanduktometrik tahlili 1-rasmda keltirilgan.



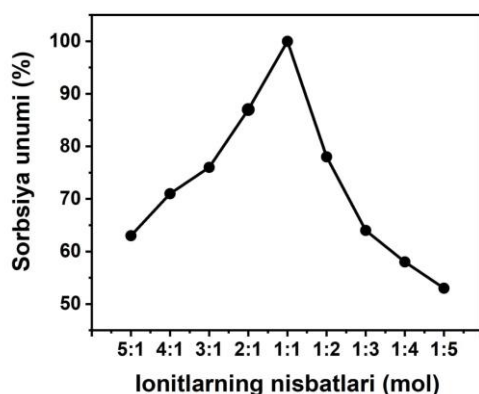
1-rasm. Ionitlar va interpolimer tizimlarning elektr o'tkazuvchanligi kanduktometrik usulda aniqlanishi (a) (masofa 1mm) va elektr o'tkazuvchanlikning ionitlar o'rtasidagi masofaga bog'liqligi (b).

Faollashtirish jarayonini ko'rsatish maqsadida AB-17-8 anioniti (OH^- holdida), KU-2 (H^+ holdida) va ushbu ion almashinuvchi materiallar asosida olingan interpolimer sistemalar bir-biriga nisbatan ma'lum masofada joylashtirildi; 48 soat mobaynida distillangan suvdagi faollashtirildi. Ion almashinuvchi materiallar va ular asosida olingan interpolimer tizimlarning distillangan suvdagi elektr o'tkazuvchanligini kanduktometrik usulda o'lchash orqali aniqlandi. Ion almashinuvchi materiallar va ular asosida olingan interpolimer tizimlarning suvdagi elektr o'tkazuvchanligi AB-17-8 anioniti uchun $3,8 \mu\text{S}/\text{sm}$, KU-2 kationiti

uchun 4.6 $\mu\text{s}/\text{sm}$ hamda ular asosida olingan interpolimer tizim solingan distillangan suvning elektr o'tkazuvchanligi esa 13.05 $\mu\text{s}/\text{sm}$ ni tashkil qildi. Interpolimer tizimlar tarkibidagi H^+ va OH^- ionlari o'zaro ta'sirlashib suv molekulasini hosil qiladi, natijada AB-17-8 anioniti tarkibidagi to'rtlamchi amin guruhning ionlanish darajasi hamda dixromat ionlariga nisbatan adsorbsion qobiliyati ortadi.

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 ionlarning selektiv o'tkazuvchanligini ta'minlaydi va sorbsiya 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 AB-17-8 anioniti (OH^- hoida) va KU-2 kationit (H^+ hoida) bir-biriga nisbatan 2sm; 1,5sm; 1sm; 0.5sm hamda 0.1sm uzoqlikda joylashtirildi. Ionitlar tarkibidagi ionogen funktsional guruhlar bir-birining ionlanishini yaxshilashi elektr o'tkazuvchanligi konduktometrik usulda isbotlandi. Yuqoridagi 1(b)-rasmdan ko'rinib turibdiki, ionitlar orasidagi masofa o'zaro 1mm uzoqlikda joylashtirilsa ion almashinuvchi interpolimer tizimlarning elektr o'tkazuvchanlik xossasi va sorbsion sig'imi ham yuqori bo'ladi.

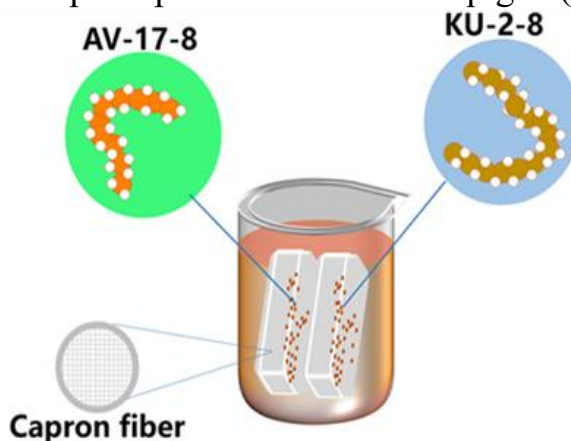
Uzoq tartibli ta'sirga ega interpolimer tizimlarni olishda AB-17-8 va KU-2 qatronlarining massa nisbatlarini (5:1; 4:1; 3:1; 2:1; 1:1 va 1:2; 1:3; 1:4; 1:5) o'zgartirish orqali tizimni sozlash mumkin. Natijalar 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Uzoq tartibdagi ta'sirga asoslangan interpolimer tizimlarni olishda anionit va kationitlarning o'zaro mol nisbatlarining sorbsiya unumiga ta'siri.

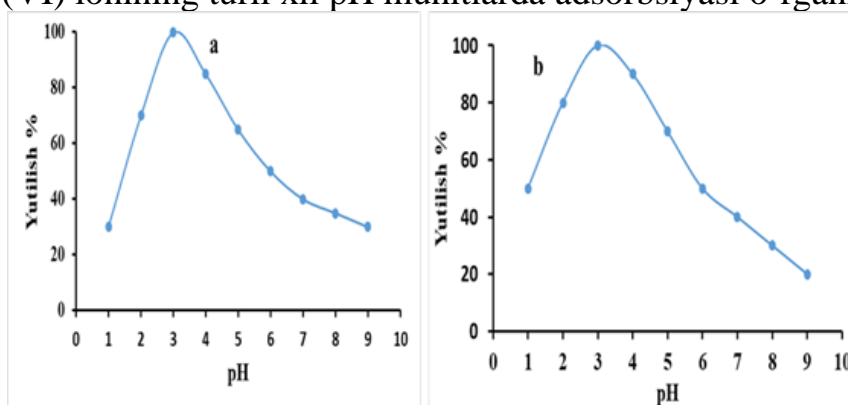
Interpolimer tizimlar hosil qilishda ionitlarni o'zaro bir-biriga nisbatan mol nisbatlarda olinishi ham interpolimer tizimlarning sorbsion sig'imga turli xil ta'sir ko'rsatadi. Biz olgan AB-17-8 anioniti va KU-2 kationitlari asosida uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan interpolimer tizimlarimizda AB-17-8 hamda KU-2 ionitlarining mol nisbatlari 1:1 bo'lganda sorbsiya unumi yuqori bo'ldi. Bunga sabab ikkala ionit ham bir xil tuzilishli sopolimerlar asosida olinganligi va funktsional guruhlarining miqdori bir-biriga yaqin bo'lganligi sababli eritmada sorbsiya jarayoniga salbiy ta'sir qiluvchi qarshi ionlar harakati bo'lmaydi, bu esa, sorbsiya jarayonlari yuqori unum bilan borishiga imkon yaratadi.

AB-17-8 anionit va KU-2-8 kabi kationitlarni o'z ichiga olgan uzoq tartibdagi ta'sirga ega tizim makromolekulalar funksional guruhlarining bir-biriga masofaviy o'zaro ta'sir qilish prinsipi asosida ishlab chiqilgan (3-rasm).



3-rasm. Uzoq tartibdagi ta'sirga asoslangan tizimlarning olinish sxemasi.

Avvalo, ionitlarning sorbsion qobiliyati eritma pH muhitiga bog'liq bo'lganligi uchun kuchsiz anionit bo'lgan PPE-1 va AN-31 funksional polimerlarga Cr(VI) ionining turli xil pH muhitlarda adsorbsiyasi o'rganilgan.



4-rasm. PPE-1 (a) va AN-31 (b) ionitlari uchun turli xil pH muhitlarda Cr(VI) ionining yutilishi %da.

Yuqorida keltirilgan 4-rasmdan PPE-1 va AN-31 anionitlarida sorbsiya jarayonlari pH-3da yuqori darajada sodir bo'lishi ko'rinib turibdi. Cr(VI) ionlari pH muhitiga qarab CrO_4^{2-} , HCrO_4^- yoki $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ko'rinishda bo'ladi. pH 2-6 oralig'ida HCrO_4^- va $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari, asosan, muvozanatda bo'lib, pH ko'rsatkich qiymati ortishi bilan xromat ionigacha (CrO_4^{2-}) o'zgaradi. Binobarin, pH qiymatining pasayishi bilan anionitda musbat zaryadlar miqdori ortadi, bu esa, dixromat ionlarining yutilishini osonlashtiradi. Ammo pH-3dan kamayishi dixromat ionlarini xromat kislotaga aylanishiga olib keladi va uning yutilishini qiyinlashtiradi. Shuning uchun pH muhitining qiymati 3,0 dan past bo'lsa Cr(VI) ionlarining adsorbsiyasi kamayib ketadi. Cr(VI) ionlarining ionitga sorbsiyalanishining optimal pH qiymati 3,0 bo'lib, AB-17-8 va interpolimer tizimlar uchun ham optimal pH qiymati 3,0 ekanligi kuzatiladi.

Sorbsiya jarayonining mexanizmini (masalan, kimyoviy reaksiya tezligi, diffuziyani boshqarish va massa uzatilishini) aniqlash kabi bir qancha kinetik modellardan foydalaniladi. So'nggi yillarda turli xil kinetik modellar psevdobirinchii tartibli, psevdobirinchii tartibli va boshqa bir qancha usullardan

foydalanilmoqda. Ushbu ishda ham PPE-1, AN-31, AB-17-8 va sanoat anionitlari asosida olingan interpolimer tizimlarga dixromat ionlarining adsorbsiyasi psevdobirichi tartibli kinetik modelning tenglamasidan ($\log(q_e - q_t)$ t-vaqtga nisbatan bog'liqlikdan) hamda psevdodikinchi tartibli kinetik modelning tenglamasidan (t/q_e va t-vaqtga nisbatan bog'liqlikdan) foydalanib topilgan tezlik konstantalari (k_1 va k_2) va korrelyatsiya koeffitsiyentlari (R^2) 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari va uzoq tartibli ta'sirga ega interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionlari sorbsiyasining kinetik ko'rsatkichlari.

Sorbent	Metall ionlari	Dastlabki kons. (mol/l)	Psevdobirichi tartibli			Psevdodikinchi tartibli		
			Muvozanat adsorbsiya miqdori q_e (mg g ⁻¹)	k_1 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	R^2	Muvozanat adsorbsiya miqdori q_e (mg g ⁻¹)	k_2 (g mg ⁻¹)	R^2
PPE-1	Cr ₂ O ₇ ²⁻	0.01	26,3	0,0076	0,8464	24,6	0,000153	0,8573
		0.025	34,04	0,00622	0,8493	37,7	0,000151	0,9755
		0.05	51,6	0,00714	0,9414	56,8	0,000144	0,9947
		0.075	90,6	0,00875	0,8956	80,0	0,000122	0,9967
		0.1	150,5	0,00967	0,8394	117,6	0,000121	0,9958
		0.125	89,8	0,00691	0,9096	175,4	0,000121	0,9988
		O'rtacha k_1 va k_2			0,00793			0,000134
AN-31	Cr ₂ O ₇ ²⁻	0.01	135,2	0,00944	0,9902	181,8182	0,0000266	0,9988
		0.025	204,533	0,00944	0,9639	312,5	0,00000995	0,9859
		0.05	270,4	0,00967	0,9666	357,1429	0,0000141	0,9828
		0.075	343,2	0,00990	0,9414	434,7826	0,0000126	0,9905
		0.1	416	0,00760	0,9819	588,2353	0,0000063	0,9891
		0.125	422,933	0,01013	0,8908	588,2353	0,0000266	0,9951
		O'rtacha k_1 va k_2			0,00937			0,0000116
AB-17-8	Cr ₂ O ₇ ²⁻	0.01	100,942	0,01497	0,7693	116,2791	0,0000884372	0,994
		0.025	184,211	0,01796	0,7453	227,2727	0,0000279769	0,9939
		0.05	278,8674	0,01958	0,7398	333,3333	0,000025395	0,9925
		0.075	310,2374	0,01981	0,7694	357,1429	0,0000302352	0,9959
		0.1	333,279	0,01819	0,8079	384,6154	0,0000291631	0,9963
		0.125	360,413	0,01842	0,7813	400	0,0000341717	0,9983
		0.25	388,493	0,01727	0,7835	416,6667	0,0000440031	0,9991
O'rtacha k_1 va k_2			0,00937			0,0000116		
Interpolimer tizim	Cr ₂ O ₇ ²⁻	0.01	103,93	0,01865	0,9069	106,38	0,00058	0,9999
		0.025	246,27	0,01704	0,7893	270,27	0,00005	0,9992
		0.05	350,74	0,01842	0,8002	400,00	0,00003	0,9971
		0.075	437,54	0,01865	0,787	526,32	0,00002	0,9981
		0.10	492,68	0,01842	0,8031	555,56	0,00002	0,9986
		0.125	539,30	0,01865	0,7864	625,00	0,00002	0,9991
		0,25	607,06	0,01981	0,7548	714,29	0,00002	0,9990
O'rtacha k_1 va k_2			0,018523			0,00010		

1-jadvaldagi ma'lumotlar psevdobirinchi tartibli model parametrlar qiymatlari PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari va interpolimer tizimlarda dastlabki vaqtlarda Cr(VI) ionining yutilishi tez borganligini hamda so'ng sorbsiya tezligi sekinlashganligini bildiradi. Bunga sabab adsorbent yuzasida dixromat ionlari miqdori to'planishi va ionlar o'rtasidagi muvozanat yuzaga kelganligi bilan tushuntirish mumkin. Psevdodikinchi tartibli kinetik model uchun korrelyatsiya koeffitsiyenti psevdobirinchi tartibli model korrelyatsiya koeffitsiyentiga (R^2) nisbatan birga yaqin chiqqan va jadvaldagi kinetik parametrlar qiymatlari dixromat ionlarning PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari va interpolimer tizimlarga yutilishi psevdodikinchi tartibli kinetik model tenglamasi tomonidan yaqqolroq ifodalanishidan dalolat beradi. Bu esa, sorbsiya jarayoni kinetikasiga dixromat ionlari konsentratsiyasi bilan birga ion almashinuvchi materiallar tarkibidagi amino guruhlar konsentratsiyasi ham ta'sir ko'rsatganligini bildiradi.

PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari va interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionlarining adsorbsiya mexanizmini chuqurroq tahlil qilish maqsadida adsorbsiya izotermalari zamonaviy nazariyalar yordamida tahlil qilindi. Anionitga Cr(VI) ionlarining adsorbsiya izotermalari konstantalarini Lengmyur va Freyndlax modellari chiziqli tenglamalari yordamida hisoblandi. Hisoblar Lengmyur va Freyndlax tenglamalari kordinatlari bo'yicha tuzilgan chizmalar asosida olib borildi. Chizmalar bo'yicha hisoblangan adsorbsiya izotermasining barcha konstanta va kattaliklari 2-jadvalda keltirilgan.

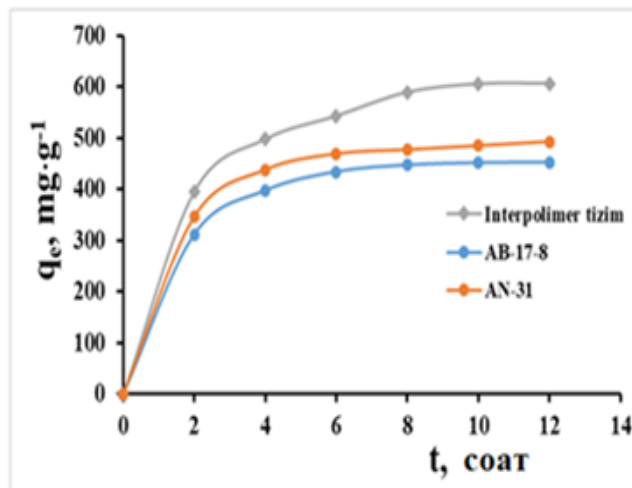
2-jadval

PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari va interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionining sorbsiyasining Lengmyur va Freyndlax konstanta qiymatlari

ionitlar	Lengmyur konstantalari				Freyndlax konstantalari		
	q_{\max}	K_L	R_L	R^2	n	K_F	R^2
PPE-1	218.4	0,0077	0,998	0,9666	2.3	11,66	0,9982
AN-31	592.42	0.0003	0,999	0,9653	2,47	9.62	0,9897
AB-17-8	432,46	0,00104	0,693	0,9926	4,68	53,39	0,9875
Interpolimer tizimlar	620,78	0,00117	0,041	0,9923	5,71	12,03	0,9625

2-jadvalda sorbsiya izotermasining Lengmyur va Freyndlax tenglamalari bo'yicha barcha hisoblangan natijalari keltirilgan. Freyndlax parametrlari qiymatlariga ko'ra mos ravishda PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlari va interpolimer tizimlarga Cr(VI) ionlari $n=2,3$; 2,47; 4,68 hamda 5,71 ga teng, bu esa, ion almashinuvchi materiallarga dixromat ionlarining sorbsiyasi yuqori darajada borganligidan dalolat beradi. Lengmyur adsorbsiya nazariyasi hisoblashlari bo'yicha korrelyatsion koeffitsiyenti R^2 qiymatlari PPE-1 anioniti uchun 0,9666, AN-31 anioniti uchun 0,9653, AB-17-8 anioniti uchun 0.9926 va interpolimer tizim uchun esa 0.9923 ga teng. Freyndlax adsorbsiya nazariyasi hisoblashlari bo'yicha esa korrelyatsion koeffitsiyenti R^2 qiymatlari PPE-1 anioniti uchun 0,9982, AN-31 anioniti uchun 0,9897, AB-17-8 anioniti uchun 0.9875 va

interpolimer tizim uchun esa 0.9625 qiymatlariga teng. Bundan xulosa qiladigan bo'lsak, PPE-1 va AN-31 ionitlariga Cr(VI) ionlari sorbsiyasining izotermalari Freyndlixning izoterma hisoblashlari yordamida, AB-17-8 anioniti va interpolimer tizimda esa Lengmyurning izoterma tenglamasi yordamida to'laroq ifodalanishini aytishimiz mumkun.



5-rasm. Cr(VI) ionlarining turli xil anionitlarga adsorbsiyasi kinetikasi.

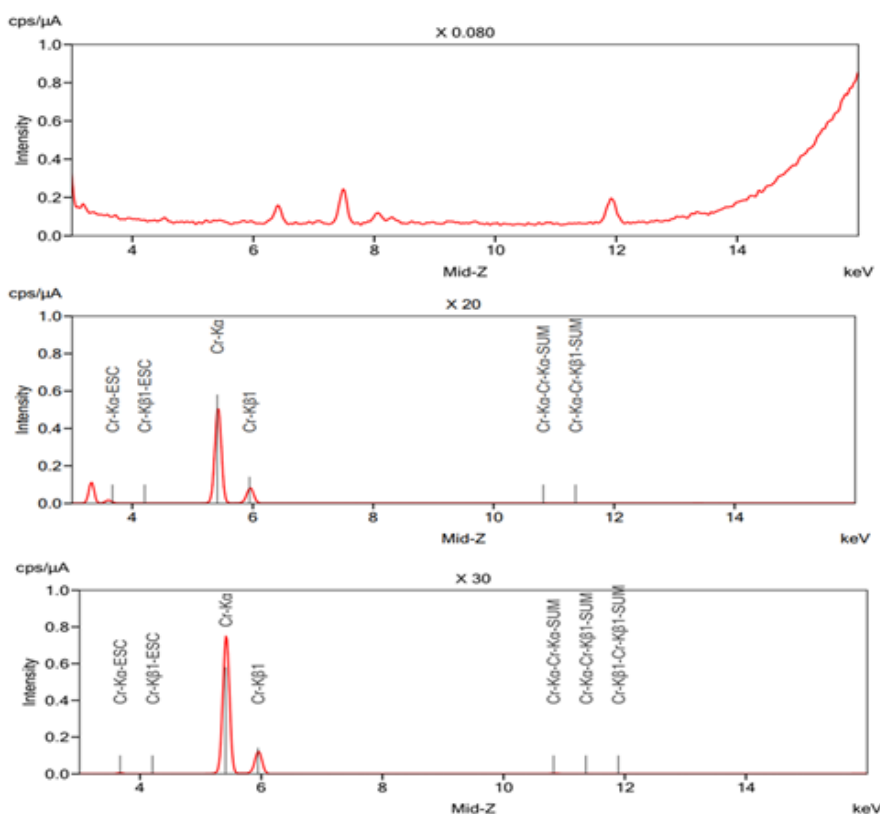
Yuqoridagi 5-rasmda Cr(VI) ionlarining turli xil anionitlarga yutilish kinetikasi berilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, AB-17-8 anioniti va KU-2 kationitidan iborat uzoq tartibli ta'sirlashuvga asoslangan interpolimer ionalmashinuvchi tizimlarga Cr(VI) ionining adsorbsiyasi eng yuqori bo'lgan. Buni 3-jadvaldan yaqqol ko'rish mumkin. Jadvalda keltirilgan natijalar 5-rasmdan qilingan xulosaga mos kelgan holda ushbu tizim Cr(VI) ionlarini oqava suvlardan to'liq ajratib olish uchun eng qulay ion almashinuvchi material deb hisoblasa bo'ladi.

3-jadval

Turli xil sorbentlarga adsorbsiya izotermalari asosida hisoblangan Cr(VI) ionlarining maksimal yutilish miqdori

Sorbent turi	PPE-1	AN-31	AB-17-8	Interpolimer tizim
q_{max} (mg/g)	218,4	592,42	459,18	620,78
Ajratib olish darajasi(%)	96	72	100	100

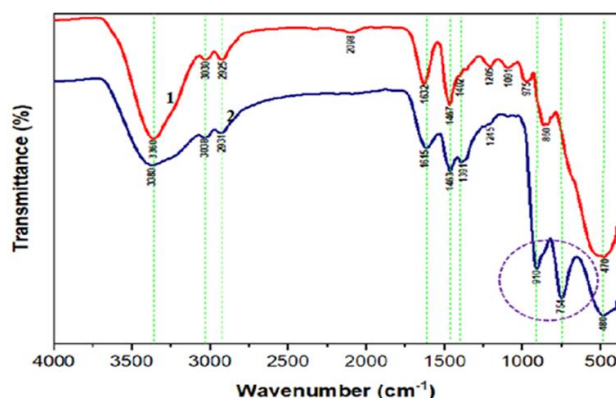
6-rasmda Cr(VI) ionlarining sorbsiyasidan keyin olingan ionit namunalarining XRF tahlili keltirilgan. Rasmdan yaqqol quyidagi xulosalar kelib chiqadi: sorbsiyadan keying anion almashinuvchi qatron namunalarida xromning yuqori miqdori aniqlandi, bu esa, adsorbsiya jarayonining muvaffaqiyatli amalga oshirilganligini ifodalaydi. Ammo KU-2 sorbent kationit bo'lganligi uchun unda xrom ionlarining intensivligi aniqlanmagan.



6-rasm. Cr(VI) ionlarining sorbsiyasidan keyin olingan ionitlar namunalarining XRF tahlili (X-0,080 - KU-2, X-20 - AB-17-8, X-30 - KU-2 va AB-17-8 ionitlardan tuzilgan interpolimer ion almashinuvchi sistema).

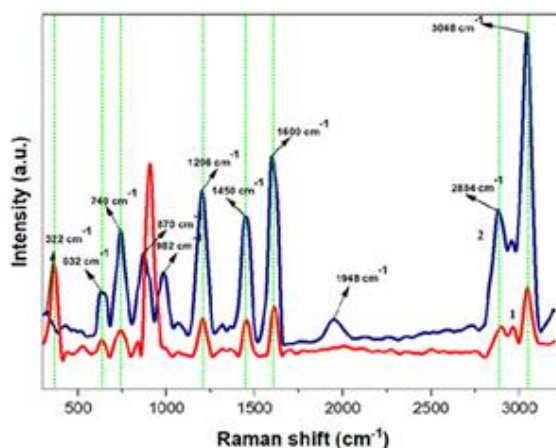
Shuningdek, XRF tahlili anion almashinuvchi qatron matritsada xromning Cr(VI) shaklda ekanligini ko'rsatdi. Anion almashinuvchi qatron matritsada xromning Cr(VI) shaklida bo'lishi esa adsorbsiya mexanizmini, asosan, ion almashinuvi va elektrostatik bog'lanish jarayonlariga asoslanganligini isbotlaydi. KU-2 va AB-17-8 ionitlardan tuzilgan ion almashinuvchi sistemada xrom ionlarining intensivligi AB-17-8 anionitnikiga qaraganda yuqoriroqdir. Demak, bu sistema xrom ionlarni anionitga qaraganda samaraliroq yutish qobiliyatiga ega.

Dastlabki AB-17-8 qatroni va sorbsiyadan keyingi anionitning IQ-spektrlari o'rtasidagi farqlarni batafsilroq ko'rib chiqaylik. Dastlabki AB-17-8 qatroni spektrlarida 3360 cm^{-1} soha nam anionit tarkibidagi suv molekullaridagi vodorod bog'lanishlarga tegishli, 2925 cm^{-1} soha $-\text{CH}_2$ va $-\text{CH}_3$ alkil guruhlarining valent tebranishlarini, 1467 cm^{-1} va 1402 cm^{-1} sohalardagi deformatsion tebranishlari bir-birini qoplovchi alifatik zanjirlarni CH_2 hamda to'rtlamchi aminoguruhlarinikiga qarashli, 1632 cm^{-1} sohasidagi aromatik halqalarning $\text{C}=\text{C}$ bog'lari valent tebranishlari, 1205 cm^{-1} sohasidagi $\text{C}-\text{N}$ bog'larining valent tebranishlari, 975 cm^{-1} va 860 cm^{-1} sohalardagi $\text{C}-\text{N}$ bog'larining deformatsion tebranishlari alifatik hamda aromatik qismlarning borligini, 470 cm^{-1} sohasidagi $\text{C}-\text{C}$ bog'larining deformatsion tebranishlari esa anionit tarkibida uglerod skeletining mavjudligini ifodalaydi.



7-rasm. AB-17-8 (1) qatroni va $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlarini sorbsiyasidan keyingi anionit (2) IQ-spektrlari.

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ sorbsiyasidan keyingi anionit spektrlarida esa anionit tarkibidagi suv molekullardagi vodorod bog‘lanishni ko‘rsatuvchi guruhlarning valent tebranishlarini 3360 dan 3380 sm^{-1} sohasiga siljiganligi kuzatildi, bu anionitning amin guruhlari bilan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari o‘zaro ta’sirlashganini qisman suv molekullari orqali bo‘lishini ko‘rsatadi. 2931 sm^{-1} sohasida $-\text{CH}_2$ va $-\text{CH}_3$ guruhlarning valent tebranishlari 1463 sm^{-1} hamda 1391 sm^{-1} sohalardagi deformatsion tebranishlari alifatik zanjirlarni, 1615 sm^{-1} sohasi aromatik halqalarni $\text{C}=\text{C}$ bog‘larining valent tebranishlari, 1245 sm^{-1} sohasidagi $\text{C}-\text{N}$ bog‘larining valent tebranishlari anionitda to‘rtlamchi amin guruhlarning mavjudligini yana bir bor tasdiqlaydi. 910 va 754 sm^{-1} sohalarda anionitda kuzatilmagan yangi simmetrik hamda asimmetrik deformatsion tebranishlari anionitning $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari bilan bog‘laganligini va $-\text{Cr}=\text{O}$ guruhlar mavjudligini ko‘rsatadi.

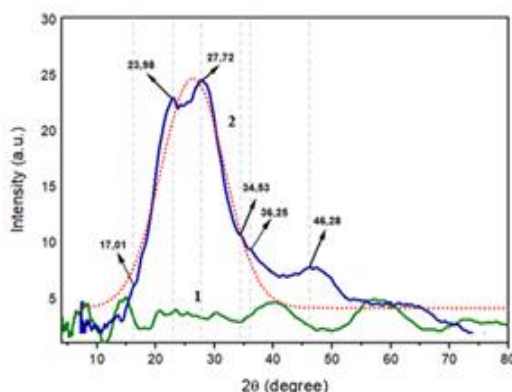


8-rasm. AB-17-8 (1) anionitini va $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlarini sorbsiyasidan keyingi anionitni (2) Raman-spektrlari.

IQ-spektroskopiyasi $\text{Me}-\text{O}$ bog‘lanishiga tegishli bo‘lgan tebranish sohasining intensivligini yanada yaqqolroq tahlil qilish maqsadida, biz Raman spektroskopik tahlilini ham o‘tkazdik. Yuqoridagi 8-rasmda AB-17-8 anionitni (1) va $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlarining sorbsiyasidan keyingi anionitning (2) Raman-spektrlari keltirilgan bo‘lib AB-17-8 qatronida kuzatilmaydigan yuqori chastotali to‘lqin uzunliklari 322, 870, 982 va 1948 sm^{-1} tebranish sohalarda paydo bo‘ldi. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ sorbsiyasidan keyingi anionit spektrlarida 322 va 740 sm^{-1} tebranish sohalari $\text{Cr}-\text{O}$ bog‘lariga tegishli bo‘lib, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari anionit tomonidan yutilishi hisobiga hosil

bo'lgan. 1450 cm^{-1} (C-N), 1600 cm^{-1} (C=O), 2884 cm^{-1} va 3048 cm^{-1} (C-N) sohalardagi tebranishlar anionit tarkibida juda kuchli intensivlikni namoyon qilgan. Bu esa, AB-17-8 qatroniga $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari yutilganidan so'ng ionitning murakkab kimyoviy tuzilishini ifodalaydi. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari AB-17-8 anioniti bilan o'zaro ta'sirlashganda, ion bog'lanishlari hosil bo'ladi hamda bu ionitning polimer matritsasidagi funksional guruhlarning tebranish sohalariga ta'sir qiladi.

Sorbsiyadan oldin va Cr(VI) ionlari sorbsiyasidan keyin olingan anionitning rentgen nurlari diffraksiyasi (XRD) rentgenogrammasi 9-rasmda keltirilgan bo'lib, sorbsiyadan oldingi va sorbsiyadan keyingi qatronning XRD rentgenogrammalari taqqoslanganda sezilarli o'zgarish kuzatilgan. Bu o'zgarishlar qatronning mikro- va makroporalarida Cr(VI) ionlarining tarqalganligini ko'rsatadi. Adsorbsiya mexanizmi, asosan, kimyoviy sorbsiya (ion bog'lanish ko'rinishida) bilan bog'liq bo'lib, kam holatlardagi fizik adsorbsiya ham mavjud bo'lib, bu anion almashinuvchi materialning tuzilishini ma'lum darajada o'zgarishlariga olib kelgan. Rentgen nurlari diffraksiyasi (XRD) tahlilida kuzatilgan o'tkir diffraksiya cho'qqilari anion almashinuvchi materialga adsorbsiyalangan Cr(VI) ionlarining tuzlarini kristall tuzilishini tasdiqlaydi. Adsorbsiyalangan Cr(VI) ionlari tuzlari uchun kristallit o'lchami taxminan 50 nm ekanligi hisoblab topildi. Bu hisoblashlar Debay-Sherrer tenglamasi yordamida amalga oshirilgan.

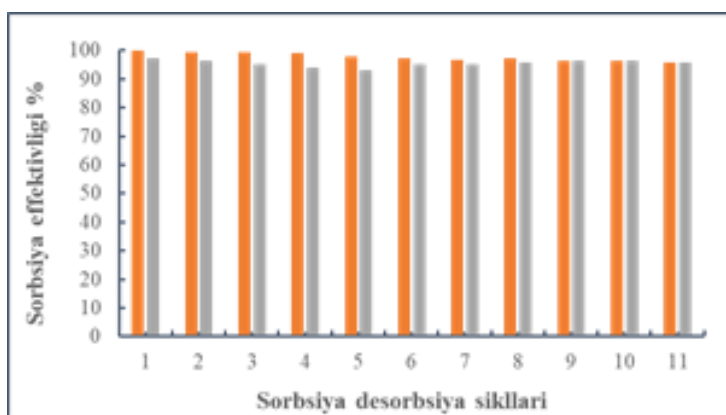


9-rasm. AB-17-8 anionitining adsorbsiyadan oldin(1) va Cr(VI) ionlarining adsorbsiyadan keyingi (2) XRD rentgenogrammalari.

Demak, olingan natijalardan shuni xulosa qilish mumkini, dixromat ionlari eritmada bo'lgan kaliy qarama-qarshi ionlari bilan anionit g'ovaklarida kaliyli tuzini hosil qilgan va shuning uchun g'ovaklarda kristallar paydo bo'lgan. Bu kristallar esa XRD rentgenogrammalar cho'qqilar paydo bo'lishiga sababchi bo'lgan. Ammo ushbu kristallitlar dixromat ionlarini sorbsiya qilgan sorbent tarkibidan suv molekullari ta'sirida yuvilib chiqmagan. Demak, bu kristallitlar anionitni g'ovaklarida fizikaviy adsorbsiya kuchlari bilan ushlab turilgan. Kristallitlarni hosil bo'lishi adsorbsiya jarayonida asta-sekin borgan.

Ushbu tadqiqot ishida funksional polimerlar asosida olingan uzoq tartibli ta'sirga ega interpolimer tizimlar orqali dixromat anionlarining sorbsiya va desorbsiya jarayonlarini 10 marta qayta takroran olib borilganda ham interpolimer tizimning sorbsion xossasi deyarli o'zgarmaganligini ko'rish mumkin. AB-17-8 anioniti va KU-2 kationitlari asosida olingan yangi interpolimer tizimlarga dixromat ionlarining sorbsiya jarayonlarini eng yuqori ko'rsatkichi pH 3 muhitda borgan.

Interpolimer tizim dixromat ioniga to'yingandan so'ng, dixromat KOH ning 12,5 % suvli eritmasi bilan interpolimer tizimdan desorbsiya qilinadi.



10-rasm. Funktsional polimerlar asosida olingan interpolimer tizimga $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlari bo'yicha sorbsiya va desorbsiya sikllari sonini sorbsiya samaradorligiga ta'siri.

Interpolimer tizimlar yuqori kimyoviy barqarorlikka ega ekanligi va uni ko'p marta ishlatish mumkinligi aniqlandi. Yuqoridagi 10-rasmdagi ma'lumotlardan ko'rinib turganidek, interpolimer tizimning DAS o'n marta sorbsiya-desorbsiya jarayonida atigi 2 % o'zgardi. Desorbsiya natijasida esa kaliy dixromat tuzining 10 % konsentrlangan eritmasi hosil bo'ldi va keyinchalik uni qayta ishlab galvanik sexda qo'llash mumkin. Interpolimer tizim o'zining sorbsion xossalari bo'yicha sanoatda ishlatiladigan Amberlayt va boshqa ion almashinuvchilardan ustunligi aniqlandi.

Shunday qilib, texnologik eritmalardan dinamik sharoitda Interpolimer tizimning DASini o'rganish shuni ko'rsatdiki, adsorbsiya jarayoni diffuzion kechikishlarsiz kechadi va interpolimer tizim sig'imi dixromat ion uchun 484 mg/g ga yetadi. Olingan yangi interpolimer tizimni sanoat korxonalarida oqava suvlarini Cr (VI) ionlaridan tozalash uchun tavsiya etish mumkin.

XULOSALAR

1. Funktsional polimerlar asosida uzoq tartibli ta'sirlashuvga ega yangi interpolimer tizimlar hosil bo'lish qonuniyatlari va fizik-kimyoviy xossalari tadqiq qilindi. Bu esa yaratilgan interpolimer tizimlarni olinishining maqbul sharoitlarini aniqlash imkonini berdi: AB-17-8 anioniti (OH^- shaklida) va KU-2 kationitlari (H^+ shaklida) 1:1 mol nisbatda, o'zaro bir-biriga nisbatan ionitlar zarrachalarini molekular radiusidan katta bo'lgan 1-2 mm masofada joylashtirish va 48 soat davomida distillangan suv bilan yuvib faollashtirildi.

2. Mahalliy PPE-1 hamda sanoatda qo'llanadigan AN-31, AB-17-8 anionitlariga, ular asosidagi interpolimer tizimlarga suvli eritmalardan Cr(VI) ionlarini adsorbsiyasi turli xil pH muhitlarda amalga oshirildi. Bu esa, qo'llanilayotgan ion almashinuvchi materiallarga dixromat ionlarini adsorbsiya qilishning maqbul muhiti pH-3 ekanligini aniqlash imkonini berdi.

3. PPE-1, AN-31, AB-17-8 va interpolimer tizimlarga ionitlariga Cr(VI) ionlarining sorbsiya kinetikasi o'rganildi va olingan natijalar psevdobirinchilik

tartibli kinetik modelga qaraganda psevdolik tartibli kinetik modelga mos ifodalanishi aniqlandi. Jarayon tezligiga (geterogen bo'lishiga qaramasdan) metal ionlari konsentratsiyasidan tashqari ionit funksional guruhlarining konsentratsiyasi ham ta'sir qilishi isbotlandi.

4. O'rganilayotgan PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlar va interpolitizimlarga dixromat ionlari adsorbsiyasiga harorat hamda Cr(VI) ionlari konsentratsiyasini ta'sirini tadqiq qilish orqali adsorbsiya izotermalari tuzildi. Izotermalar Lengmyur va Freyndlax modellari asosida tahlil qilindi. Bu esa, izotermalar borishi yaqqolroq PPE-1 va AN-31 ionitlar uchun Freyndlaxning izoterma chiziqli tenglamasiga, AB-17-8 va interpolimer tizimlarga Lengmyur chiziqli tenglamasiga mos ravishda ifodalanishini aniqlash imkonini berdi.

5. Dixromat ionlarining PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlariga va interpolimer tizimlarga sorbsiyalanish jarayonining termodinamik parametrlari hisoblab topildi hamda ΔH^0 musbat qiymatga ega ekanligi, ya'ni adsorbsiya jarayoni endotermik ekanligi aniqlandi. Shuningdek, sistema entropiyasining ortishi sorbent yuzasidagi Cl^- ionlari bilan eritma tarkibidagi $Cr_2O_7^{2-}$ ionlari o'rtasida ion almashinish jarayoni borganligidan dalolat beradi. Sistema erkin energiyaning kamayishi xrom(VI) ionlarining PPE-1, AN-31, AB-17-8 anionitlariga va interpolimer tizimlarga adsorbsiyasi o'z-o'zicha borganligini ko'rsatadi.

6. Sanoat ionitlari bo'lgan AB-17-8 anioniti va KU-2 kationitlari asosida olingan yangi interpolimer tizim oqava suvlardan Cr(VI) ionlarini ajratib olish uchun tekshirildi hamda uning yordamida "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ va "Muborak gazni qayta ishlash zavodi" MCHJ dagi oqava suvlar tarkibidagi dixromat ionlari jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ruxsat etgan konsentratsigacha (0.05mg/l) kamaytirish imkonini berdi. Sorbsion-desorbsion jarayonlari 10 marta qo'llashdan keyin ham sorbsion xossalari deyarli o'zgarmaganligi aniqlangan, shuning uchun olingan interpolimer tizim sanoat korxonalarida suvlaridan zaharli dixromat ionlarini tozalashda foydalanish uchun tavsiya etildi.

7. AB-17-8 anioniti va KU-2 kationitlari asosida olingan yangi interpolimer tizimlar asosida yaratilgan qurulma "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ ning markaziy mexanik ta'mirlash zavodining "Galvanik sexi" dan chiqayotgan oqava suvlarni Cr(VI) ionlaridan tozalash uchun hamda "Muborak gazni qayta ishlash zavodi" MCHJ galvanik sexidagi oqava suvlari tarkibidagi zaharli dixromat ionlarini ajratib olish uchun joriy 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

БОТИРОВ СУННАТЖОН ХУДОЙБЕРДИ УГЛИ

**СОРБЦИЯ ИОНОВ Cr(VI) ПРОМЫШЛЕННЫМИ ИОНИТАМИ И
ИНТЕРПОЛИМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ИХ ОСНОВЕ**

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.ziyonet.uz.

Научный руководитель: **Мухамедиев Мухтаржан Ганиевич**
доктор химических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Юнусов Хайдар Эргашович**
доктор технических наук, профессор
Кутлимуратов Нурбек Маткаримович
доктор философии по химическим наукам, доцент

Ведущая организации: **Ташкентский химико-технологический институт**

Защита диссертации состоится «15» марта 2025 г. В 9:00 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 №16) (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 « ____ » _____ 2025 г.
(протокол рассылки № ____ от « ____ » _____ 2025 г).

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

Н.Х. Кутлимуротова
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. Ускоренное развитие мировой экономики, рост численности населения, расширение промышленного производства и его воздействие на окружающую среду приводят к увеличению содержания тяжелых и токсичных ионов металлов в объектах окружающей среды, вызывая экологические проблемы. Особенно остро эта проблема проявляется в сточных водах гальванических цехов и кожевенных предприятий, где концентрация тяжелых и токсичных ионов металлов превышает предельно допустимые нормы. Для решения этих проблем и обеспечения эффективной очистки воды широко применяются ионообменные материалы, которые обладают высокой химической, механической и термической стабильностью, возможностью многократного использования, а также экономической эффективностью и практической значимостью по сравнению с другими методами очистки.

В мире уделяется особое внимание созданию интерполимерных систем с дальнедействующими упорядоченными взаимодействиями на основе промышленных ионообменных материалов. Научный интерес представляет оптимизация условий их получения, повышение эксплуатационной эффективности, улучшение химической и термической стабильности, а также физико-химических свойств. Важной задачей является увеличение сорбционных свойств этих систем по отношению к тяжелым и токсичным ионам металлов, их внедрение в промышленность, а также снижение себестоимости производства ионообменных материалов. Все эти направления обладают высокой научной и практической значимостью.

Сегодня в связи с высоким спросом на эффективные ионообменные материалы в нашей Республике проводится ряд научных исследований по изучению химических, физико-химических свойств и областей применения ионитов, используемых в промышленности, и внедрению их в практику. Стратегия развития нового Узбекистана на период 2022-2026 годов определяет важные задачи³, направленные на «Очистка сточных вод гальванических цехов от токсичных ионов хрома с использованием местных ионитов». В связи с этим одной из задач являются получение интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием на основе промышленных ионитов, изучение физико-химических и сорбционных свойств полученных систем, химическая очистка промышленных сточных вод с их использованием.

Результаты данного диссертационного исследования служат в определенной степени реализации задач, определенных в Указе Президента Республики Узбекистан от 13 февраля 2021 года № ПУ-4992 «О дальнейшем реформировании и финансовой консолидации предприятий химической промышленности, мерах по развитию производства химической продукции с

³ «Об организационных мерах по реализации Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022 — 2026 годы» Указ Президента Республики Узбекистан от 6 июля 2022 года № ПП-307

высокой добавленной стоимостью», Решении Президента № ПР-3983 от 25 октября 2018 года «Узбекистан О мерах по опережающему развитию химической промышленности Республики Узбекистан», Указе Президента от 3 апреля 2019 года № ПР-4265 «О мерах по дальнейшему реформированию химической промышленности и повышению ее инвестиционной привлекательности» и в других в законодательных документах.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан: VII. Химические технологии и нанотехнологии.

Степень изученности проблемы.

Мировое научное сообщество занимается синтезом различных полимерных материалов с ионообменной функциональностью путем модификации промышленных и природных полимеров. Полученные ионообменные материалы используются при очистке тяжелых и токсичных ионов на промышленных предприятиях. В результате они способствуют эффективному удалению ионов Cr(VI) и предотвращению экологических проблем. В частности, зарубежные учёные Н. Давра, Н. Дабас, К.З. Элвакил, А.М. Элгарахи, З.А. Хан, Ю. Чжан Гжегож Войчик, Виолета Нягу О.Н. Кононова, Фумихико Огата и др. исследовали механизмы сорбции, физико-химические свойства и применение ионов Cr(VI) на анионитах, полученных из промышленных и природных полимеров.

Также в нашей стране О.Н. Мусаев, М.А. Аскарлов, С.Ш. Рашидова, А.Т. Джалилов, С.М. Турабжонов, Ха.А. Акбаров., Т.М. Бабаев, Х.Т. Тораев, 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 проводили научные исследования.

В научных исследованиях вышеупомянутых ученых представлены методы исследования сорбции ионов Cr(VI) с помощью волокнистых анионитов и ионообменных материалов. Однако научные исследования по изучению промышленных ионитов и механизмов получения интерполимерных систем на их основе, сорбции ионов Cr(VI) интерполимерными системами на основе дальнедействующего взаимодействия и др. не проводились.

Соответствие диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы высшего учебного или научно-исследовательского учреждения, в котором выполняется диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Национального университета Узбекистана в соответствии с научно-исследовательскими работами AL-552101242 «Получение новых ионитов на основе поливинилхлорида с амино- и гидроксильными группами и их использование при очистке сточных вод от ионов Cr(VI)» (2022-2025 гг.).

Целью исследования Исследование сорбции ионов Cr(VI) промышленно используемыми ионитами и интерполимерными системами на их основе.

Задачи исследования:

определение оптимальных условий получения интерполимерных систем с взаимодействием дальнего порядка на основе промышленных ионитов;

изучение кинетики адсорбции ионов Cr(VI) на бытовых и промышленных ионитах и полученных из них интерполимерных системах;

исследование изотерм адсорбции ионитов Cr(VI) на местных и промышленных ионитах и полученных на их основе интерполимерных системах и определение термодинамических параметров;

физико-химические исследования ионообменных материалов, адсорбирующих ионы Cr(VI);

определение областей применения интерполимерных систем, полученных на основе функциональных материалов и ионитов, выпускаемых в промышленности.

Объектами исследования иониты ППЭ-1, АН-31, АВ-17-8, КУ-2-8 и бихроматные соли.

Предмет исследований – адсорбция, десорбция, регенерация, кинетика, изотерма, термодинамика, ИК- и рамановская спектроскопия, спектрофотометрия, XRF-анализ.

Методы исследования. В ходе исследований использованы современные теоретические и экспериментальные методы исследования, в том числе ИК- и рамановская спектроскопия, термогравиметрический анализ, дифференциально-калориметрический термический анализ, элементный анализ, спектрофотометрия, энергодисперсионная рентгеновская флуоресцентная спектроскопия, рентгенофазовые изменения, анализ изотерм с помощью моделей Ленгмюра и Фрейндлиха при изучении процессов адсорбции и описание кинетики адсорбции с использованием кинетических моделей псевдопервого и псевдвторого порядка.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

На основе промышленных ионообменных полимерных материалов АВ-17-8 и КУ-2 создана новая интерполимерная система с дальнедействующими взаимодействиями, которая обладает более высокой электропроводностью и сильной ионизацией по сравнению с индивидуальными ионитами.

Изучены кинетика адсорбции дихромат-ионов на анионитах и интерполимерной системе показано, что скорость адсорбционного процесса лучше описывается кинетической моделью псевдвторого порядка, следовательно несмотря на гетерогенный характер процесса на скорость реакции оказывает не только концентрация дихромат ионов, но и концентрация функциональных групп полимера.

Исследована изотермы адсорбции для индивидуальных анионитов и

интерполимерной системы, полученные результаты показали, что ход изотерм адсорбции для анионитов PPE-1 и AN-31 соответствуют адсорбционной модели Фрейндлиха, а для анионита АВ-17-8 и интерполимерной системы на основе АВ-17-8 и КУ-2 — модели адсорбции Лэнгмюра.

Оценены физико-химические свойства новой интерполимерной системы, полученной на основе функциональных полимеров, и установлено, что сорбционная ёмкость этой системы по отношению к дихромат-ионам выше, чем у анионитов PPE-1, AN-31 и АВ-17-8.

Более высокая сорбционная ёмкость интерполимерной системы по сравнению с индивидуальными анионитами объяснено активацией функциональных групп анионита интерполимерной системы под сульфогруппы воздействием катионита. Анализ EDXRF подтвердил, что дихромат-ионы поглощаются исключительно функциональными группами анионита, а функциональные группы катионита не участвуют непосредственно в процессе адсорбции.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

определены оптимальные условия получения интерполимерной системы с дальнедействующими взаимодействиями на основе промышленных ионитов анионита АВ-17-8 и катионита КУ-2. Установлена возможность эффективной очистки сточных вод от токсичных ионов Cr(VI) этой интерполимерной системой, основанной на дальнедействующем взаимодействии;

продемонстрирована высокая эффективность извлечения ионов Cr(VI) из сточных вод гальванических цехов центрального механического ремонтного завода АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» и завода по переработке газа Мубаракского газоперерабатывающее предприятия с использованием разработанной интерполимерной системы.

Достоверность полученных результатов исследования определяется использованием современных методов исследования, таких как ИК, рамановская спектроскопия, термогравиметрический, дифференциально-калориметрический термический анализ, спектрофотометрия, рентгенофазовые изменения, рентгенофлуоресцентная спектроскопия. Ионный баланс и кинетика процессов адсорбции описываются с помощью кинетических моделей псевдопервого и псевдвторого порядка; а изотерма адсорбции рассчитывалась по моделям Ленгмюра и Фрейндлиха, соответствующие выводы были сделаны с помощью уравнений приведенных в современных теориях термодинамики адсорбции и на основе анализа результатов экспериментальных исследований, пересчитанных математико-статистическими методами.

Научная и практическая значимость результатов исследования

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке научных основ получения новых интерполимерных систем на

основе дальнедействующего взаимодействия путем установления необходимого расстояния между анионом АБ-17-8 и катионом КУ-2 и измерения электропроводности в системе, а также демонстрации преимуществ интерполимерных систем посредством исследований кинетики и изотерм адсорбции дихромат-ионов как индивидуальными анионитами так и этими системами.

Практическое значение результатов исследования заключается в том, что интерполимерные системы, полученные на основе анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2, обладают способностью удалять токсичные ионы хрома (VI) из промышленных сточных вод с большей эффективностью, чем отдельные иониты. Это позволяет широко использовать их в охране окружающей среды.

Внедрение результатов исследования.

На основе научных результатов, полученных при изучении физико-химических свойств новой интерполимерной системы с дальнедействующими взаимодействиями, разработанной с использованием промышленных ионитов:

На базе функциональных полимеров в АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» создана установка для очистки сточных вод, основанная на интерполимерных системах. Установка внедрена для очистки сточных вод, содержащих ионы Cr(VI), от гальванического цеха центрального механического ремонтного завода АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (Справка № 01-02-5-ХХ-24-10-0129 от 17 октября 2024 года). В результате содержание дихромат-ионов в сточных водах комбината было снижено с 50 мг/л до 0,05 мг/л.

На «Муборакском заводе по переработке газа» разработана установка для очистки сточных вод, основанная на интерполимерных системах. Установка внедрена для очистки сточных вод, содержащих ионы Cr(VI) (Справка № 873/ГК-10 от 21 октября 2024 года). В результате внедрения содержание ионов Cr(VI) в сточных водах завода снизилось с первоначальных 10 мг/л до 0,03 мг/л. Это подтверждает соответствие очищенных вод экологическим требованиям Комитета по охране природы и обеспечивает минимальное воздействие на окружающую среду. Кроме того, внедрение установки принесло социально-экономический эффект.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были представлены и обсуждены на 16, в том числе 9 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 2 республиканские статьи в научных изданиях, рекомендованных к публикации основных научных результатов диссертаций доктора философских наук (PhD) Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, 2 (1 Scopus) статьи опубликованы в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения,

трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составил 112 страниц.⁴

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во вводной части показаны актуальность, новизна и востребованность диссертационной работы, приведены цель и задачи исследования, определены объект и тематика. Показано, что данные научные исследования соответствуют приоритетным направлениям развития науки и техники нашей республики. В полной мере раскрыты научная новизна, практические результаты исследования и доказана достоверность полученных результатов. Теоретическая и практическая значимость достигнутых результатов всесторонне объяснена и представлена во внедрении результатов исследования, опубликованных работах, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации **«Закономерности адсорбции ионов хрома (VI) различными ионообменными сорбентами (обзор литературы)»** рассмотрен вред ионов металлов, попадающих в окружающую среду вместе со сточными водами промышленных предприятий, и токсичных дихромат-ионов. Обсуждается влияние на флору, фауну и организм человека и объясняется негативное воздействие на природу. Рассмотрена адсорбция ионов Cr(VI) на ионообменных материалах, содержащих функциональную ионогенную группу, путем модификации различными природными, синтетическими, гранулированными, мембранными, волокнистыми полимерами промышленных сточных вод. Изучены кинетика адсорбции, изотерма, термодинамические закономерности токсичных дихромат-ионов с использованием различных функциональных обменных материалов, физико-химические изменения, наблюдаемые в ионитах в результате адсорбции дихромат-ионов, а также промышленное применение.

Изучены специфичность, селективность, широкий спектр применения, химическая и термическая стабильность, каталитические и сорбционные свойства ионообменных материалов. В данной исследовательской работе задачи были определены на основе анализа теоретических и практических результатов. Исходя из актуальности и необходимости темы исследования, сделаны выводы о значимости и необходимости ионообменных материалов для выявленных задач и свойств. В данной главе представлены научные исследования, проведенные учеными мира и нашей республики о роли и значении ионообменных материалов в очистке токсичных дихромат-ионов в сточных водах производственных предприятий, существенном снижении негативного воздействия на окружающую среду. Окружающая среда и экология, показаны в этой главе.

Во второй главе диссертации под названием **«Получение новых интерполимерных систем на основе функциональных полимеров, их**

⁴ Автор выражает искреннюю благодарность доктору химических наук, профессору Бекчанову Д.Ж. за научные консультации при выполнении диссертационной работы.

сорбционных и физико-химические свойства» рассмотрены закономерности получения интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием с участием функциональных полимеров анионита АВ-17-8 и катионита КУ-2. анионита АВ-17-8, определены закономерности кинетики и изотермы, рассчитаны термодинамические параметры адсорбции дихромат-ионов на аниониты ППЭ-1, АН-31, АВ-17-8 и интерполимерные системы, проанализированы физико-химические свойства ионообменных материалов после адсорбции дихромат-ионов.

Первоначально при получении интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием на основе промышленных анионита АВ-17-8 и катионита КУ-2 были изучены влияние расстояния между ионитами, соотношения их масс. Кондуктометрическое определение электропроводности ионитов и интерполимерных систем в дистиллированной воде в зависимости от расстояний между ионитами представлен на рис. 1.

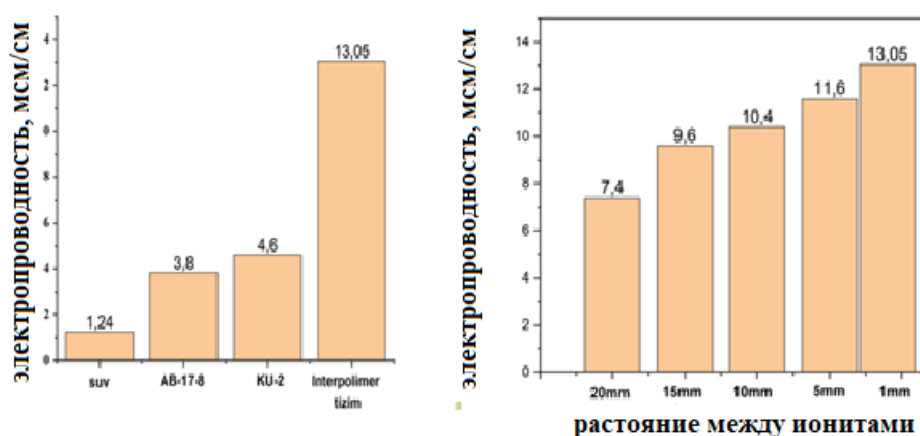


Рис.1. Определение электропроводности ионитов и интерполимерных систем кондуктометрическим методом (а) и зависимость электропроводности от расстояния между ионитами (б) (расстояние 1 мм)

Для демонстрации процесса активации в интерполимерных системах анионит АВ-17-8 (в OH^- форме), КУ-2 (в H^+ форме) размещались на определенном расстоянии друг от друга и активировали промыванием в дистиллированной воде в течение 48 часов. Электропроводность ионообменных материалов и интерполимерных систем на их основе определяли путем проведения кондуктометрических измерений в дистиллированной воде. Электропроводность ионообменных материалов и интерполимерных систем на их основе в воде составляет 3,8 мс/см для анионита АВ-17-8, 4,6 мс/см для катионита КУ-2, а электропроводность дистиллированной воды, содержащей интерполимерные системы на основе их и составило 13,05 мс/см. Ионы H^+ и OH^- в интерполимерной системе взаимодействуют с образованием молекулы воды, в результате чего степень ионизации четвертичной аминогруппы в анионите АВ-17-8 увеличивается и возрастает адсорбционная способность системы к дихромат-ионам.

В системах, основанных на дальнедействующем эффекте, ионообменники взаимодействуют на расстоянии, не соединяясь напрямую друг с другом. Это обеспечивает избирательную ионную проницаемость и повышает эффективность сорбции. Расстояние ионитов относительно друг друга важно также при получении интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием на основе функциональных полимеров, потому с целью изучения взаимодействия между анионитом АБ-17-8 (в OH^- форме) и катионита КУ-2 (в H^+ форме) их расположили на расстоянии 2, 1,5, 1, 0,5, 0,1 см друг от друга; При этом кондуктометрическим методом изучена способность ионогенных функциональных групп диссоциировать в дистиллированной воде. Как видно из рисунка 1(б) электропроводность и сорбционная емкость ионообменных интерполимерных систем выше, если расстояние между ионитами составляет 1 мм друг от друга.

При получении интерполимерных систем с дальнедействующим взаимодействием использовали массовые соотношения смол АБ-17-8 и КУ-2 (5:1; 4:1; 3:1; 2:1; 1:1 и 1:2; 1:3; 1:4; 1:5) позволяющие корректировать систему. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

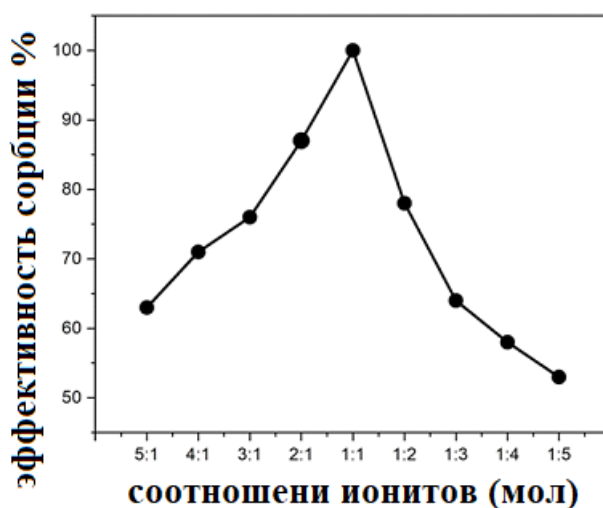


Рис. 2. Влияние мольного соотношения анионита и катионита в интерполимерных системах на эффективность сорбции.

При формировании интерполимерных систем взятие ионитов в мольных соотношениях друг к другу также оказывает различное влияние на сорбционную емкость интерполимерных систем. В наших интерполимерных системах на основе дальнедействующих взаимодействий на основе анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2 эффективность сорбции была высокой при мольном соотношении ионита АБ-17-8 и КУ-2 1:1. Это связано с тем, что оба ионита получены на основе сополимеров с одинаковой структурой и количеством функциональных групп, близким друг к другу, поэтому в растворе не происходит движения противоионов, что отрицательно влияет на процесс сорбции. что позволяет сорбционным процессам протекать с высокой эффективностью.

Система с дальнедействующим взаимодействием на основе анионита АБ-17-8 и катионита типа КУ-2-8 разработана на основе принципа

дистанционного взаимодействия функциональных групп макромолекул (рис. 3).

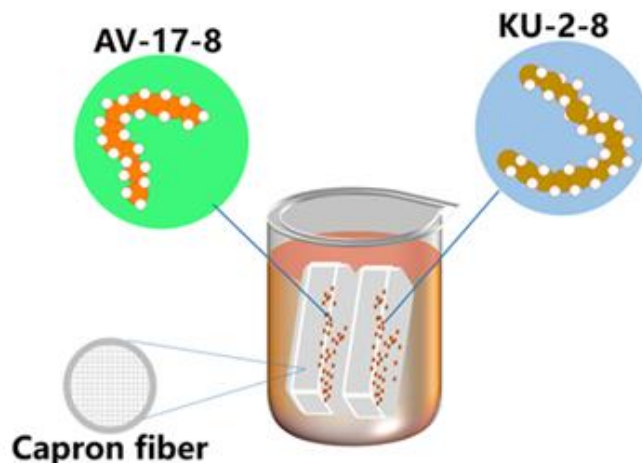


Рис 3. Схема получения систем, основанных на дальнедействующем взаимодействии.

Прежде всего, поскольку сорбционная емкость ионитов зависит от pH раствора, изучена адсорбция иона Cr(VI) на функциональных полимерах ППЭ-1 и АН-31, которые являются слабыми анионитами, в различных pH средах.

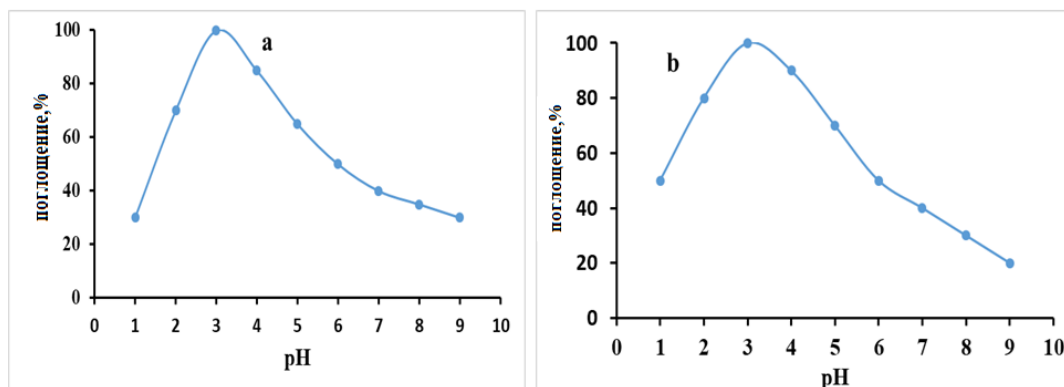


Рис.4. Влияние pH среды на поглощение иона Cr(VI) в % для ионитов ППЭ-1 (а) и АН-31 (б).

Как видно из рисунка 4, максимальная степень поглощения как на анионите ППЭ-1, так и на анионите АН-31 достигается при pH=3. В зависимости от pH среды ионы Cr(VI) проявляются в виде CrO_4^{2-} , HCrO_4^- или $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. В диапазоне pH 2–6 ионы HCrO_4^- и $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ находятся преимущественно в равновесии, а по мере увеличения значения pH они переходят в хромат-ион (CrO_4^{2-}). Следовательно, с уменьшением значения pH количество положительных зарядов в анионите увеличивается, что способствует поглощению дихромат-ионов. Но понижение pH ниже 3 приводит к тому, что ионы дихромата превращаются в хроматовую кислоту, что затрудняет ее поглощение. Поэтому адсорбция ионов Cr(VI) снижается, если pH среды ниже 3,0. Оптимальное значение pH как для АВ-17-8, так и для интерполимерной системы также равно 3,0.

Для выявления механизма процесса в последние годы используются различные кинетические модели псевдопервого порядка, псевдвторого

порядка и ряд других методов. В данной работе используя уравнение кинетической модели псевдопервого порядка (построением зависимости $\log(q_e - q_t)$ от t), псевдвторого порядка (построением зависимости t/q_e от t) найдены константы скорости (k_1 и k_2) и коэффициенты корреляции (R^2), значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Кинетические параметры адсорбции ионов Cr(VI) анионитами ППЭ-1, АН-31, АВ-17-8 и интерполимерными системами с дальнедействующим взаимодействием.

Сорбент	Ион металла	Исходная концентрация (моль/л)	Псевдопервый порядок			Псевдвторой порядок		
			Величина равновес. адсорбции q_e (мг г ⁻¹)	k_1 (г мг ⁻¹ мин ⁻¹)	R^2	Величина равновес. адсорбции q_e (мг г ⁻¹)	k_2 (г мг ⁻¹)	R^2
РРЕ-1		0.01	26,3	0,0076	0,8464	24,6	0,000153	0,8573
		0.025	34,04	0,00622	0,8493	37,7	0,000151	0,9755
		0.05	51,6	0,00714	0,9414	56,8	0,000144	0,9947
		0.075	90,6	0,00875	0,8956	80,0	0,000122	0,9967
		0.1	150,5	0,00967	0,8394	117,6	0,000121	0,9958
		0.125	89,8	0,00691	0,9096	175,4	0,000121	0,9988
		Среднее k_1 va k_2		0,00793			0,000134	
АН-31		0.01	135,2	0,00944	0,9902	181,8182	0,0000266	0,9988
		0.025	204,533	0,00944	0,9639	312,5	0,00000995	0,9859
		0.05	270,4	0,00967	0,9666	357,1429	0,0000141	0,9828
		0.075	343,2	0,00990	0,9414	434,7826	0,0000126	0,9905
		0.1	416	0,00760	0,9819	588,2353	0,0000063	0,9891
		0.125	422,933	0,01013	0,8908	588,2353	0,0000266	0,9951
		Среднее k_1 va k_2		0,00937			0,0000116	
АВ-17-8	Cr ₂ O ₇ ²⁻	0.01	100,942	0,01497	0,7693	116,2791	0,0000884372	0,994
		0.025	184,211	0,01796	0,7453	227,2727	0,0000279769	0,9939
		0.05	278,8674	0,01958	0,7398	333,3333	0,000025395	0,9925
		0.075	310,2374	0,01981	0,7694	357,1429	0,0000302352	0,9959
		0.1	333,279	0,01819	0,8079	384,6154	0,0000291631	0,9963
		0.125	360,413	0,01842	0,7813	400,00	0,0000341717	0,9983
		0.25	388,493	0,01727	0,7835	416,6667	0,0000440031	0,9991
Среднее k_1 va k_2		0,00937			0,0000116			
Интерполимерная система		0.01	103,93	0,01865	0,9069	106,38	0,00058	0,9999
		0.025	246,27	0,01704	0,7893	270,27	0,00005	0,9992
		0.05	350,74	0,01842	0,8002	400,00	0,00003	0,9971
		0.075	437,54	0,01865	0,787	526,32	0,00002	0,9981
		0.10	492,68	0,01842	0,8031	555,56	0,00002	0,9986
		0.125	539,30	0,01865	0,7864	625,00	0,00002	0,9991
		0,25	607,06	0,01981	0,7548	714,29	0,00002	0,9990
		Среднее k_1 va k_2		0,018523			0,00010	

Данные табл. 1 показывают, что коэффициент корреляции адсорбции по кинетической модели псевдвторого порядка выше коэффициента корреляции (R^2) адсорбции псевдопервого порядка, следовательно изотермы адсорбции дихромат-ионов на аниониты ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерные системы с дальнедействующим взаимодействием лучше описываются линейным уравнением кинетической модели псевдвторого порядка. Это означает, что на кинетику адсорбции дихромат ионов ионообменными материалами влияет концентрация не только низкомолекулярного иона, но и аминокрупп в анионитах.

Для глубокого анализа механизма адсорбции ионов Cr(VI) на анионитах ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерных системах проведен анализ изотерм адсорбции с использованием современных теорий. Константы адсорбции ионов Cr(VI) на анионите рассчитаны с использованием моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Расчеты производились на основе зависимостей приведённых в координатах линейных уравнений Ленгмюра и Френдлиха. Все константы и величины изотермы адсорбции, рассчитанные по этим зависимостям, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения констант уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха при адсорбции иона Cr(VI) анионитами ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерными системами

иониты	Константы уравнения Ленгмюра				Константы уравнения Фрейндлиха		
	q_{\max}	K_L	R_L	R^2	n	K_F	R^2
ПРЕ-1	218.4	0,0077	0,998	0,9666	2,3	11,66	0,9982
АН-31	592.42	0.0003	0,999	0,9653	2,47	9.62	0,9897
АБ-17-8	432,46	0,00104	0,693	0,9926	4,68	53,39	0,9875
Интерполимерная система	620,78	0,00117	0,041	0,9923	5,71	12,03	0,9625

В табл. 2 приведены результаты расчета констант изотермы адсорбции по уравнениям Ленгмюра и Фрейндлиха ионов Cr(VI) к анионитам ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерным системам. Значениям параметра Френдлиха n соответственно равны 2,3 2,47; 4,68; 5,71, что свидетельствует о высоком сорбционном средстве дихромат-ионов ионообменными материалами которое выше для интерполимерных систем. Значения коэффициента корреляции R^2 согласно расчетам по теории адсорбции Ленгмюра составляют 0,9666 для анионита ППЭ-1, 0,9653 для анионита АН-31, 0,9926 для анионита АБ-17-8 и 0,9923 для интерполимерной системы. Согласно расчетам по теории адсорбции Фрейндлиха значения коэффициента корреляции R^2 равны 0,9982 для анионита ППЭ-1, 0,9897 для анионита АН-31, 0,9875 для анионита АБ-17-8 и 0,9625 для интерполимерной системы. Если сделать из этого вывод, то можно считать, что изотермы

адсорбции ионов Cr(VI) ионами ППЭ-1 и АН-31 лучше описываются моделью Фрейндлиха. Для интерполимерной системы и аниониту АБ-17-8 полученные экспериментальные изотермы лучше описываются моделью Ленгмюра.

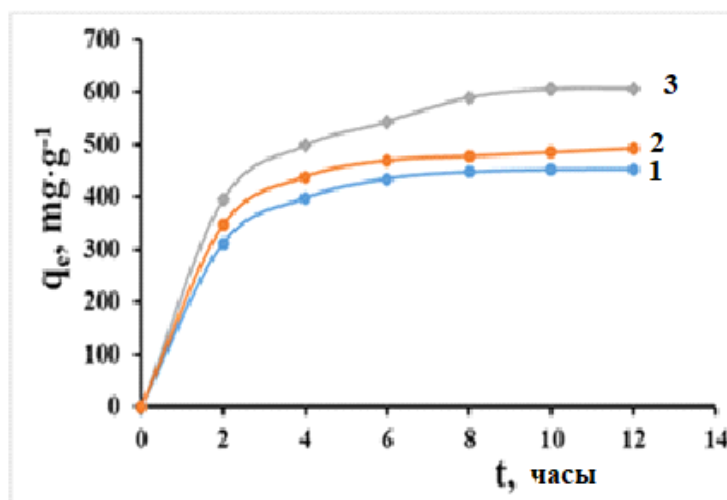


Рисунок 5. Кинетика адсорбции ионов Cr(VI) на различных анионитах (1- АБ-17-8, 2-АН-31, 3-интерполимерная система).

На рис. 5 приведена кинетика поглощения ионов Cr(VI) различными анионитами. Как видно из рисунка, наибольшей была адсорбция иона Cr(VI) на интерполимерных системах, основанная на дальнедействующем взаимодействии, состоящая из анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2. Результаты, представленные в таблице 3, соответствуют выводу, сделанному из рис. 5, следовательно интерполимерную систему можно считать наиболее эффективным ионнообменным материалом для полного удаления ионов Cr(VI) из сточных вод.

Таблица 3

Максимальная величина поглощения ионов Cr(VI), рассчитанная на основе изотерм адсорбции на различных сорбентах

Тип сорбента	РРЕ-1	AN-31	АВ-17-8	Interpolimer tizim
q _{max} (мг/г)	218,4	592,42	459,18	620,78
Степень извлечения(%)	96	72	100	100

На рисунке 6 приведён состав анионита и катионита в интерполимерных системах основанных на дальнедействующем взаимодействии состоящих из анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2 после адсорбции дихромат ионов найденный рентгенфлюорисцентным методом. Видно, что катионит КУ-2 в интерполимерной системе не поглощает ионы Cr(VI), а адсорбционная емкость этой системы равна поглощающей способности анионита АВ-17-8 находящегося внутри системы. Следовательно основная функция катионита КУ-2 заключалась в активации анионита в этой системе.

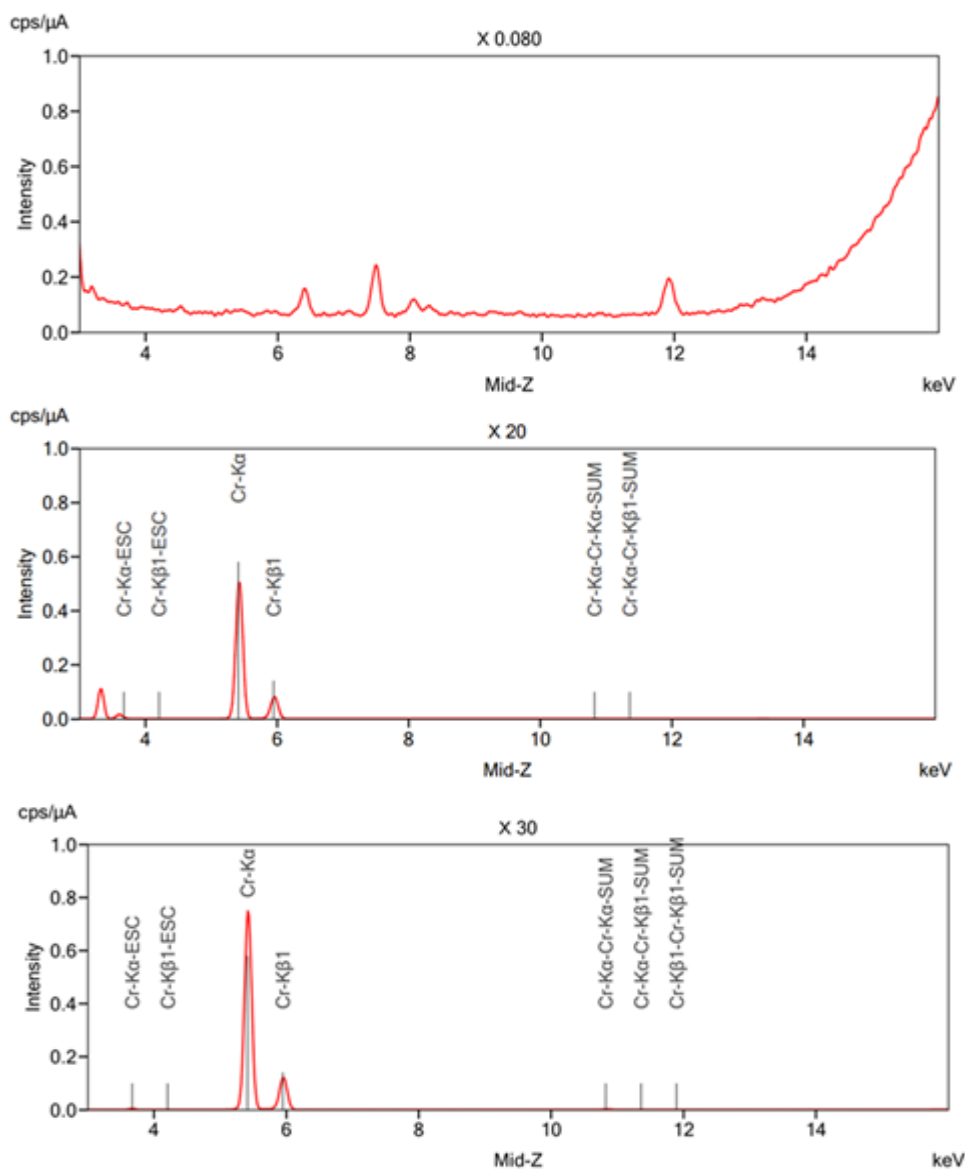


Рисунок 6. Рентгенофлуорисцентный анализ образцов ионита, полученных после адсорбции ионов Cr(VI) (X-0,080 - КУ-2, X-20 - АБ-17-8 иониты, X-30 - интерполимерная ионообменная система). -).

Также XRF-анализ показал, что хром в матрице анионита находится в форме Cr(VI). Наличие хрома в форме Cr(VI) в матрице анионита доказывает, что механизм адсорбции основан главным образом на процессах ионного обмена и электростатического связывания. В ионообменной системе из ионитов КУ-2 и АБ-17-8 интенсивность ионов хрома выше, чем у анионита АБ-17-8. Следовательно, эта система обладает способностью поглощать ионы хрома более эффективно, чем анионит.

Для выявления механизма связывания рассмотрим подробнее различия ИК-спектров исходной смолы АБ-17-8 и анионита после сорбции. В спектрах исходной смолы АБ-17-8 область 3360 см^{-1} соответствует водородным связям в молекулах воды во влажном анионите, область 2925 см^{-1} указывает на валентные колебания $-\text{CH}_2$ и $-\text{CH}_3$ алкильных групп, и полосы в областях 1467 см^{-1} и 1402 см^{-1} , деформационные колебаниям перекрывающихся алифатических цепей CH_2 и четвертичных аминогрупп, в области 1632 см^{-1} колебания связи $\text{C}=\text{C}$ ароматических колец, колебания связи $\text{C}-\text{N}$ в области

1205 cm^{-1} , деформационные колебания связи C–N в области 975 cm^{-1} и 860 cm^{-1} относятся к алифатическим и ароматическим частям, а деформационные колебания связей C–C в районе 470 cm^{-1} указывают на наличие углеродного скелета в анионите.

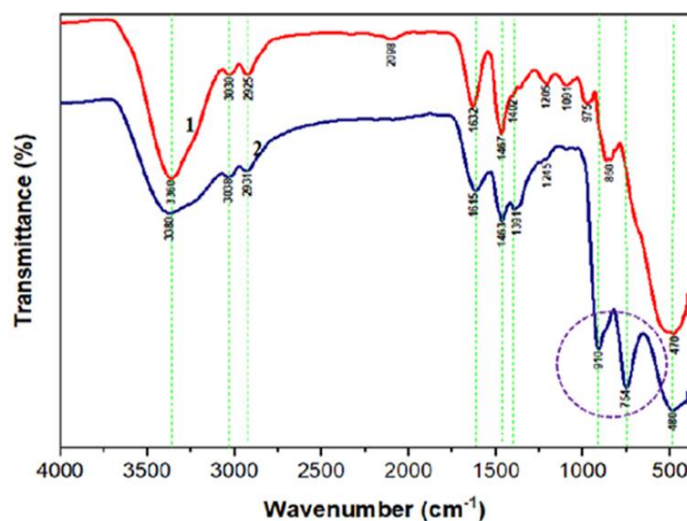


Рисунок 7. ИК-спектры смолы АБ-17-8 (1) и анионита после сорбции ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (2).

В спектрах анионита после адсорбции $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ наблюдалось смещение валентных колебаний групп, указывающих на водородную связь молекул воды со структурой анионита, от 3360 до 3380 cm^{-1} , что указывает на взаимодействие дихромат ионов с аминогруппой анионита частично через молекулы воды. В области 2931 cm^{-1} валентные колебания групп – CH_2 и – CH_3 , в областях 1463 cm^{-1} и 1391 cm^{-1} деформационные колебания алифатических цепей, в области 1615 cm^{-1} – валентные колебания связей C=C ароматического кольца, в районе 1245 cm^{-1} – валентные колебания связей C–N дополнительно подтверждает наличие в анионите четвертичных аминогрупп. Новые симметричные и асимметричные деформационные колебания, не наблюдавшиеся в анионите в областях 910 и 754 cm^{-1} , свидетельствуют о связи анионита с дихромат ионами и наличии групп —Cr=O .

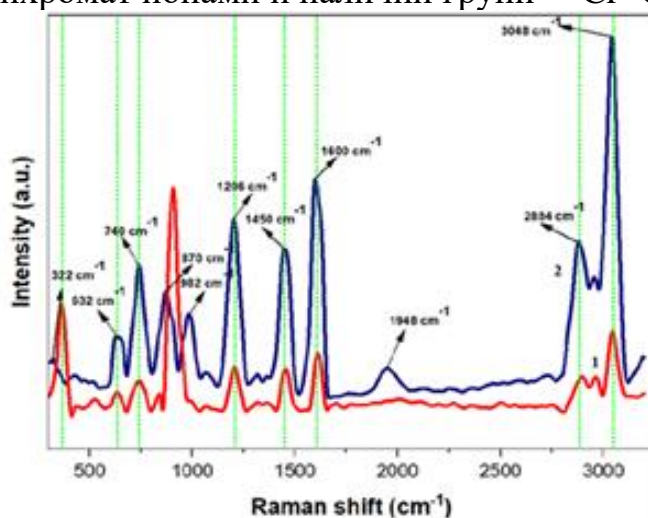


Рисунок 8. Спектры комбинационного рассеяния смолы АБ-17-8 (1) и анионита после адсорбции ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (2).

Чтобы более четко проанализировать интенсивность пика связанного со связью Me-O, мы также провели спектроскопический анализ комбинационного рассеяния. На рисунке 8 показаны спектры комбинационного рассеяния смолы АБ-17-8(1) и анионита (2) после адсорбции дихромат ионов. Длины высокочастотных волн, которые не наблюдаются в смоле АБ-17-8, составляют 322,2. В областях колебаний появились полосы 870, 982 и 1948 см^{-1} . В спектрах анионита после адсорбции $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ области колебаний 322 и 740 см^{-1} принадлежат связям Cr-O и образовались в результате взаимодействия анионита с ионами $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Колебания в областях 1450 см^{-1} (CN), 1600 см^{-1} (C=O), 2884 см^{-1} и 3048 см^{-1} (CN) показали усиление их интенсивности в составе анионита. Всё это показывает сложную химическую структуру ионита после адсорбции ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ смолой АБ-17-8. При взаимодействии дихромат ионов с анионитом АБ-17-8 образуются ионные связи, что влияет на поля колебаний функциональных групп в полимерной матрице ионита.

Рентгенограмма (РФА) анионита, полученного до сорбции и после сорбции ионов Cr(VI), представлена на рисунке 9. Существенное изменение наблюдалось при сравнении рентгенограмм смолы до сорбции и после сорбции. Эти изменения указывают на распределение ионов Cr(VI) в микро- и макропорах смолы. Механизм адсорбции связан преимущественно с химической сорбцией (в виде ионной связи), а в редких случаях имеет место и физическая адсорбция, приводящая к определенным изменениям в структуре анионообменного материала. Острые дифракционные пики, наблюдаемые при рентгенофазовом анализе (РФА), подтверждают кристаллическую структуру ионов Cr(VI), адсорбированных на анионообменном материале. Рассчитано, что размер кристаллитов адсорбции ионов Cr(VI) составляет около 50 нм. Эти расчеты были выполнены с использованием уравнения Дебая-Шеррера.

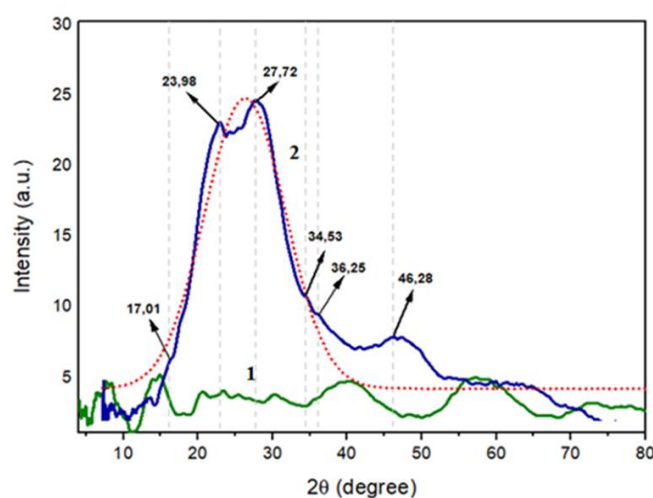


Рисунок 9: Рентгеновские изображения анионита АБ-17-8 до адсорбции (1) и после адсорбции (2) ионов Cr(VI).

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод, что ионы дихромата образовывали в порах анионита калиевую соль с

противоионами калия в растворе, в результате чего в порах появлялись кристаллы. Эти кристаллы вызывали пики на рентгеновских изображениях XRD. Однако эти кристаллиты не вымылись за счет под действием молекул воды из сорбента, поглотившего дихромат-ионы. Таким образом, эти кристаллиты удерживают анионит в своих порах за счет сил физической адсорбции.

Из рис.10 видно, что сорбционные свойства интерполимерной системы не изменились даже при 10-кратном повторении процессов сорбции и десорбции дихромат-анионов через интерполимерные системы с эффектами дальнего порядка, полученные на основе функциональных полимеров. Наибольшая скорость сорбции дихромат-ионов новыми интерполимерными системами на основе анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2 наблюдалась в среде с pH=3. После насыщения интерполимерной системы дихромат-ионом его десорбируют из интерполимерной системы 12,5%-ным водным раствором KOH.

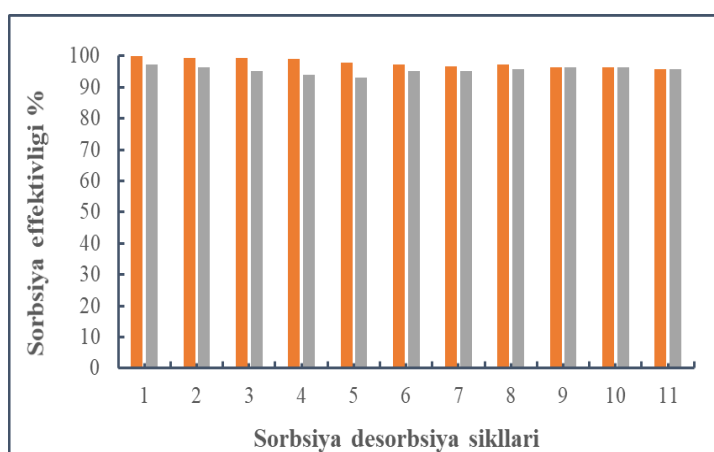


Рисунок 10. Циклы сорбции и десорбции ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ в интерполимерную систему на основе функциональных полимеров.

Установлено, что интерполимерные системы обладают высокой химической стабильностью и могут использоваться многократно. Как видно из данных на рисунке 10 выше, ДОЕ интерполимерной системы изменился всего на 2% в течение десятикратной сорбции-десорбции. В результате десорбции образовалось 10 л концентрированного раствора соли дихромата калия, который можно переработать и использовать в гальваническом цехе. Установлено, что интерполимерная система по своим сорбционным свойствам превосходит Амберлит и другие иониты, используемые в промышленности.

Таким образом, исследование ДОЕ интерполимерной системы в динамических условиях из технологических растворов показало, что процесс адсорбции протекает без диффузионных задержек, а емкость интерполимерной системы достигает 484 мг/г по дихромат-иону. Полученная новая интерполимерная система может быть рекомендована для очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов Cr(VI).

ВЫВОДЫ

1. Изучены закономерности формирования и физико-химические свойства новых интерполимерных систем с дальнедействующими взаимодействиями на основе функциональных полимеров. Это позволило определить оптимальные условия получения создаваемых интерполимерных систем: мольное соотношение анионита АБ-17-8 (в форме OH^-) и катионита КУ-2 (в форме H^+) 1:1, взаимное расположение частиц ионитов на расстоянии 1-2 мм являющегося намного большим чем радиус молекул и активация промывкой дистиллированной водой в течение 48 часов.

2. Адсорбцию ионов Cr(VI) из водных растворов на отечественных ППЭ-1 и промышленно используемых анионитах АН-31, АБ-17-8 и интерполимерных системах на их основе проводили в средах с различным рН. Это позволило определить оптимальное значение рН среды для адсорбции используемыми ионообменными материалами дихромат ионов равное 3.

3. Исследована кинетика сорбции ионов Cr(VI) на РРЕ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерных системах. Полученные данные показали, что процесс описывается псевдоторым порядком кинетической модели, в отличие от модели псевдопервого порядка. Несмотря на гетерогенный характер процесса, доказано, что на его скорость влияют не только концентрация ионов металлов, но и концентрация функциональных групп ионообменных материалов.

4. Путем изучения влияния температуры и концентрации ионов Cr(VI) построены изотермы адсорбции дихромат-ионов исследуемыми анионитами ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерными системами. Изотермы анализировались с использованием моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Это позволило определить, что для ионитов ППЭ-1 и АН-31 ход изотерм более четко выражен в соответствии с линейным уравнением изотерм Френдлиха, а для анионита АБ-17-8 и интерполимерных систем линейным уравнением Ленгмюра.

5. Найдены термодинамические параметры процесса сорбции дихромат-ионов анионами ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерными системами и установлено, что значение ΔH_0 имеет положительную величину и процесс адсорбции является эндотермическим. Увеличение энтропии системы свидетельствует о том, что происходит реакция ионного обмена между ионами Cl^- на поверхности сорбента и ионами $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ в растворе. Уменьшение свободной энергии свидетельствует о том, что сорбция ионов хрома(VI) анионитами ППЭ-1, АН-31, АБ-17-8 и интерполимерными системами носит самопроизвольный характер.

6. Для извлечения ионов Cr(VI) из сточных вод использована новая интерполимерная система на основе промышленных анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2 и с её помощью удалось понизить концентрацию дихромат ионов в сточных вода Алмалыкского горно-металлургического комбината а

так же Мубарекского газоперерабатывающего завода до концентраций разрешённой международной организацией здравоохранения (0,05 мг/л). После 10 кратных процессов сорбции-десорбции было установлено, что сорбционные свойства ионообменной системы не изменялись, поэтому её рекомендовали к использованию при очистке от токсичных дихромат-ионов сточных вод промышленных предприятий.

7. Установка, на основе новой интерполимерной системы состоящей из промышленных анионита АБ-17-8 и катионита КУ-2, внедрена для очистки от ионов Cr(VI) сточных вод, выходящих из «Гальванического цеха» центрального ремонтно-механического завода АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» и гальванического цеха ООО «Мубарекский ГПЗ».

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

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

BOTIROV SUNNATJON

**SORPTION OF Cr(VI) IONS BY INDUSTRIAL IONITES AND
INTERPOLYMER SYSTEMS BASED ON THEM**

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/K724

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: **Yunusov Khaydar Ergashovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Qutlimuratov Nurbek Matkarimovich
Doctor of Philosophy in Chemistry, Associate Professor

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

The defense of the dissertation will take place on «15» march 2025 in «9:00 am» 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 dissertation has been registered at the Informational Resource of National university of Uzbekistan (registration number 16) (Address: 100174, Tashkent, street Universitetical 4. Ph.: (99871)227-12-24, Fax: (99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: rector@nuu.uz).

The abstract of the dissertation has been distributed on « _____ » _____ 2025 year
Protocol at the register № _____ dated « _____ » _____ 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. Mahkamov

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: Study of sorption of Cr(VI) ions by industrially used ion exchangers and interpolymer systems based on them.

Objects of investigation: in the form of PPE-1, AN-31, AV-17-8, KU-2-8 and dichromate salts.

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

A novel interpolymer system with long-range interactions was developed based on the industrial ion-exchange polymer materials AB-17-8 and KU-2, which exhibits higher electrical conductivity and strong ionisation compared with individual ionites.

The kinetics of adsorption of dichromate ions on anionites and interpolymer system has been studied. It has been shown that the adsorption process rate is better described by the pseudo-second-order kinetic model, hence, despite the heterogeneous nature of the process, not only the concentration of dichromate ions but also the concentration of polymer functional groups influences the reaction rate.

The adsorption isotherms for individual anionites and interpolymer system were investigated, the results obtained showed that the course of adsorption isotherms for PPE-1 and AN-31 anionites correspond to Freundlich adsorption model, and for AB-17-8 anionite and interpolymer system based on AB-17-8 and KU-2 - to Langmuir adsorption model.

The physicochemical properties of a new interpolymer system based on functional polymers were evaluated and it was found that the sorption capacity of this system with respect to dichromate ions is higher than that of anionites PPE-1, AN-31 and AB-17-8.

The higher sorption capacity of the interpolymer system in comparison with individual anionites was explained by activation of functional groups of the anionite of the interpolymer system under the sulfogroup influence of the cationite. EDXRF analysis confirmed that dichromate ions are adsorbed exclusively by functional groups of the anionite, and functional groups of the cationite do not participate directly in the adsorption process.

Implementation of research results.

Based on the scientific results of the study of the physical and chemical properties of the new interpolymer system based on a long-range reaction using industrial ionite:

Based on functional polymers, a wastewater treatment plant based on interpolymer systems was created at Almalyk Mining and Metallurgical Plant JSC. The plant was implemented to purify wastewater containing Cr(VI) ions from the galvanic shop of the central mechanical repair plant of Almalyk Mining and Metallurgical Plant JSC (Reference No. 01-02-5-XX-24-10-0129 dated October 17, 2024). As a result, the content of dichromate ions in the plant's wastewater was reduced from 50 mg/l to 0.05 mg/l.

A wastewater treatment plant based on interpolymer systems has been developed at the Muborak Gas Processing Plant. The plant was implemented to treat wastewater containing Cr(VI) ions (Reference No. 873/GK-10 dated October 21, 2024). As a result of the implementation, the content of Cr(VI) ions in the plant's wastewater decreased from the initial 10 mg/l to 0.03 mg/l. This confirms the compliance of the treated water with the environmental requirements of the Nature

Protection Committee and ensures minimal impact on the environment. In addition, the implementation of the plant brought 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 112 pages long.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Bekchanov, D., Mukhamediev, M., Lieberzeit, P., Babojonova, G., Botirov, S. (2021). Polyvinylchloride-based anion exchanger for efficient removal of chromium (VI) from aqueous solutions // *Polymers for Advanced Technologies*, 2021. – № 32 (10). – P. 3995-4004 (Scopus: Q2).

2. Ботиров С.Х., Инхонова А.С., Хушвактов Ю.У., Бекчанов Д.Ж. & Мухамедиев М.Г. Исследование кинетики сорбции ионов Cr (VI) из искусственных растворов на анионите АН-31 // *Universum: Химия и биология*. – Москва, 2022. – № 12 (105). – С. 23-29 (02.00.00. № 2).

3. Botirov S.X., Eshtursunov D., Fayzullayev Yu., Inxonova A., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. AN-31 anionitiga bixramat ionlarining sorbsiyasini eritma pH muhitiga bog'liqligini tadqiq qilish // *Farg'ona davlat universiteti Ilmiy axborotnomasi*. – Farg'ona, 2024. – № 5. – B. 48-51 (02.00.00. № 17).

4. Botirov S.X., Eshtursunov D.A., Fayzullayev Y.S., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. Sanoat anionitiga sun'iy eritmalardan Cr(VI) ionlarining sorbsiya kinetikasini tadqiq qilish // *Farg'ona davlat universiteti Ilmiy axborotnomasi*. – Farg'ona, 2024. – № 5. – B. 60-64 (02.00.00. № 17).

II bo'lim (II часть; II part)

5. Khushvaktov S., Botirov S., Inkhonova A., Babojonova G., Bekchanov D.J. & Muxamediyev M. Sorbtic kinetics of chromium (VI) ions to anion exchanger / *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2022. T. 2432. – № 1. – P.

6. Ботиров С.Х., Алмирзаева М.Ж., Хуррамова Ф.Т., Инхонова А., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. Сунъий эритмалардан хром (VI) ионларини sanoatda ishlatiladigan АН-31 ионитига сорбциясининг кинетикасини ўрганиш / *Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции. Институт общей и неорганической химии АН РУз*. – Ташкент, 2022. 12-14 май. – С. 737-738.

7. Botirov S.X., Alimirzayeva M.J., Inxonova A., Usmonova X.X., Eshtursunov D.A., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. Sun'iy eritmalardan хром (VI) ionlarini sanoatda ishlatiladigan АВ-17-8 ionitiga sorbsiya kinetikasini o'rganish / “Функционал полимерларнинг фундаментал ва амалий жиҳатлари” мавзусидаги Халқаро илмий-амалий конференция. – Тошкент, 2023. – Б. 783-788.

8. Ботиров С.Х., Алмирзаева М.Ж., Инхонова А., Усмонова Х.Х., Эштурсунов Д.А., Мухамедиев М.Г. Изучение кинетики сорбции ионов хрома (VI) в искусственных растворах на ионите АВ-17-8, используемом в промышленных масштабах / “Функционал полимерларнинг фундаментал ва амалий жиҳатлари” мавзусидаги Халқаро илмий-амалий конференция. – Тошкент, 2023. – Б. 900-905.

9. Ботиров С.Х., Алмирзаева М.Ж., Хуррамова Ф.Т., Инхонова А., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. Сунъий эритмалардан хром (VI) ионларини sanoatda ishlatiladigan АН-31 ионитига адсорбция назариясини ўрганиш / “Кимёнинг ривожидида фундаментал, амалий тадқиқотлар ва уларнинг

истикболлари” мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани. – Тошкент, 2022. 22-23 сентябрь. – Б. 335-337.

10. Botirov S.X., Inxonova A., Eshtursunov D.A., Usmonova X.X., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. Sanoatda ishlatiladigan AB-17-8 ion almashinuvchi qatroni yordamida xrom (VI) ionining adsorbsion nazariyasini tadqiq qilish / “Analitik kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi xalqaro professor-‘qituvchilar va yosh olimlar ishtirokidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Toshkent, 2023. – B. 289-290.

11. Ботиров С.Х., Эштурсунов Д.А., Инхонова А., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. АБ-17-8 анионитига Cr(VI) ионлари сорбция кинетикаси / “Termoreaktiv oligomerlar, polimerlar saqlovchi chiqindilar, polifunksional birikmalar va ular asosida polimer materiallar yaratishning istiqbollari” mavzusidagi konferensiya materiallari. – Toshkent, 2024. 18-19-yanvar. – B. 200-201.

12. Botirov S.X., Eshtursunov D.A., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. Interpolimer tizimlarga sun‘iy eritmalaridan Cr(VI) ionlarining sorbsiya kinetikasi / “Kompozitsion, korroziyaga qarshi va qurilish materiallarini mahalliy xom ashyolar hamda sanoat chiqindilari asosida olishning innovatsion texnologiyalari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya. – Jizzax, 2024. 26-aprel. – B. 253-258.

13. Botirov S., Babojonova G., Bekchanov D., Mukhamediyev M. Anion exchange material based on local raw materials for removal of chromium(vi) ions from aqueous solutions / “Advanced Science and Technology: Celebrating 15 Years of Turin Polytechnic University in Tashkent”. – Tashkent, 2024. April 22-23. – P. 38.

14. Botirov S.X., Eshtursunov D.A., Inkhonova A., Usmonov Kh.Kh., Bekchanov D.J., Mukhamediev M.G. Kinetics of sorption of Cr(VI) ions by industrial ion exchange / “Advanced Science and Technology: Celebrating 15 Years of Turin Polytechnic University in Tashkent”. – Tashkent, 2024. April 22-23. – P. 39-40.

15. Botirov S.X., Eshtursunov D.A., Usmonova X.X., Murtozaqulov M.R., Bekchanov D.J., Muhamediyev M.G. Sanoat anionitiga sun‘iy eritmalaridan Cr(VI) ionlarining sorbsiya kinetikasini tadqiq qilish / “O‘zbekistonda tabiiy fanlarning zamonaviy tadqiqotlari va ilm-fan integratsiyasi” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. – Urganch, 2024. 19-20-sentyabr. – B. 114-116.

16. Botirov S.X., Usmonova X.X., Murtozaqulov M.R., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. AB-17-8 anioniti yordamida sun‘iy eritmalaridan xrom (VI) ionlari sorbsiyasini tadqiq qilish / “Замонавий органик кимё: ютуқлар, муаммолар, ечимлар” мавзусидаги хорижий олимлар иштирокидаги Республика илмий-амалий анжумани. – Тошкент, 2024. 20-21 сентябрь. – Б. 198-200.

17. Botirov S., Babojonova G., Bekchanov D.J. & Mukhamediyev M. Anion exchange material based on local raw materials for removal of chromium(VI) ions from aqueous solutions / Девятая всероссийская Каргинская конференция “Полимеры – 2024”. – Москва, Россия, 2024. 1-3 июля. – С. 287.

18. Botirov S.X., Egamberdiyev B.U., Mirzakhidov X.A., Bekchanov D.J., Mukhamediyev M.G. Sorption of chromium (VI) ions from artificial solutions using anionite AB-17-8 / “Current problems and innovative technologies in the field of natural sciences” International scientific and practical conference. –Tashkent, 2024. 4-5-aprel. – P. 321-323.



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 21.02.2025.

Bichimi: 60x84 ^{1/16} «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.

Shartli bosma tabog'i 2,9. Adadi 100. Buyurtma: № 45

Tel: (99) 832 99 79; (77) 300 99 09

Guvohnoma reestr № 10-3279

“IMPRESS MEDIA” MChJ bosmaxonasida chop etildi.

Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko'chasi, 6-uy