

**CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc 03/30.09.2020.K.82.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

TURSUNMURATOV OBID XAMZAYEVICH

**VERMIKULIT ASOSIDA OLINGAN IONITNING FIZIK-KIMYOVIY
XOSSALARI**

02.00.06 – Yuqori molekulyar birikmalar

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

Chirchiq – 2025

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

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

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on Chemical Sciences**

Tursunmuratov Obid Xamzayevich

Vermikulit asosida olingan ionitning fizik-kimyoviy xossalari..... 3

Турсунмуратов Обид Хамзаевич

Физико-химические свойства ионита, полученного на основе
вермикулита.... 21

Tursunmuratov Obid Xamzayevich

Physical and chemical properties of the ion exchanger obtained on the basis
of vermiculite..... 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

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

**CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc 03/30.09.2020.K.82.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

TURSUNMURATOV OBID XAMZAYEVICHNING

**VERMIKULIT ASOSIDA OLINGAN IONITNING FIZIK-KIMYOVIY
XOSSALARI**

02.00.06 – Yuqori molekulyar birikmalar

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

Falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2021.3.PhD/K420 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Chirchiq davlat pedagogika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uchta tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida www.cspi.uz, ilmiy-kengash manziliga va "Ziyonet" axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Bekehanov Davronbek Jumazarovich kimyo fanlari doktori, professor
Rasmiy opponenlar:	Karimov Maxmud Muratovich kimyo fanlari doktori, professor
	Turobov Xamza Tursunovich kimyo fanlari doktori, professor
Yetakchi tashkilot:	Toshkent kimyo-texnologiya instituti

Dissertatsiya himoyasi Chirchiq davlat pedagogika universiteti huzuridagi DSc.03/30.09.2020.K.82.02 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "30" 04 soat 16⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 111720, Toshkent viloyati Chirchiq shahri, Amir Temur ko'chasi, 104-uy. Tel.: (99870) 712-27-55, faks (99870) 712-45-41; e-mail: tvchdpi_k.kengash@umail.uz).

Dissertatsiya bilan Chirchiq davlat pedagogika universitetining Axborot resurs markazida tanishish mumkin (365-raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 111720, Toshkent viloyati Chirchiq shahri, Amir Temur ko'chasi, 104-uy. Tel.: (99870) 712-27-55, faks: (99870) 712-45-41; e-mail: tvchdpi_k.kengash@umail.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "17" 04 kuni tarqatildi.

(2025-yil "17" 04 dagi 23 raqamli reyestr bayonnomasi).



O.E.Ziyadullayev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, k.f.d., professor

G.Q.Otamuxamedova
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, k.f.d.

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Bugungi kunda dunyoda sanoat korxonalarining kengayishi, aholi sonining ortib borishi va ularning faoliyati natijasida oqava suvlarni zaharli hamda kimyoviy moddalar bilan ifloslanishi ortib bormoqda. Xususan sanoat korxonalari va qishloq xo'jaligi chiqindi suvlari tarkibidagi og'ir va toksik ta'sir tabiatli metall ionlari ekologik muammolarni keltirib chiqaradi. Bu muammolarni hal qilish uchun ionalmashinuvchi texnologiyalardan keng foydalaniladi va ular yordamida ifloslangan oqova suvlar tozalanadi. Shuni inobatga olgan holda mahalliy xomashyodan foydalanib ionitlar sintez qilish va ishlab chiqarishni muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Jahonda ionitlarni zamonaviy sintez usullari yordamida olish, ularni fizik-kimyoviy xossalari aniqlash va ular asosida yangi xususiyatga ega ion almashinuvchi materiallar sintez qilish bo'yicha keng qamrovli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada, oqova suvlarni tozalashda sintetik ion almashinuvchi materiallar bilan bir qatorda tabiiy, arzon hamda mahalliy xomashyolardan foydalanib ionitlar olishga alohida e'tibor berilmoqda.

Mamlakatimizda so'ngi yillarda import o'rnini bosivchi, iqtisodiy jihatdan arzon, mahalliy xomashyolar asosida polimer materillarini olish sohasida muhim natijalarga erishib kelmoqda. Xususan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida "Kimyo va gaz-kimyosi sohalarini rivojlantirish va tabiiy gazni qayta ishlash" hamda "Mis sanoati klasterini tashkil etish orqali mis va boshqa mahsulotlar ishlab chiqarish"¹ga yo'naltirilgan muhim vazifalar belgilab berilgan. Shu maqsadda mahalliy xomashyolarni kimyoviy modifikatsiyalash orqali ionitlar, polimer-metall komplekslar sintez qilish, fizik-kimyoviy xossalarni o'rganish hamda ularni qo'llab sanoat oqava suvlarini kimyoviy va biologik tozalash muhim o'rin tutadi.

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 vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti natijalari muayyan darajada xizmat qiladi.

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

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

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

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Hozirgi davrga kelib vermikulit va uning asosida sanoat miqyosida qo‘llaniladigan ko‘plab yangi moddalar olingan. Chet el olimlaridan: D.Franklin, R.Ortega, R.Levya-Ramos, L.Chmielarz, Z.Paweł, X.Baldrich, S.Moraes, S.Rodrigues, N.Gisele vermikulitni xossalari va ishlatilish sohaslarini, shuningdek, vermikulitni lab xossalari Feng J., Moldir T., Pengfei Liu, N.G.Renganathan, Zubair Ahmed, Bruno de Paula, Hang Long, Pingxiao Wu, Marcin Banach, Meiqing Chen, Shanshan Mao, Mustafa Tuzen, Olga Freitas kabi xorij mamlakat olimlari tomonidan o‘rganilgan. Mamlakatimizda vermikulit hamda bentionit (gil minerallari) sohasida ilmiy tadqiqot ishlari yaqin yillar oralig‘ida boshlangan bo‘lganligiga qaramasdan bir qancha olimlar: D.A.Gafurova, P.J.Tojiyev, X.R.Tillayev, M.S.Sharipov, B.A.Aliyev, N.I.Fayzullayev, A.T.Jalilov, shuningdek, M.A.Askarov, S.Sh.Rashidova, U.N.Musayev, S.S.Negmatov, A.T.Djalilov, S.M.Turobjonov, T.M.Babayev kabi olimlarimiz polimerlar asosida turli xil ionitlar olinishi, xossalari sohasida o‘zining munosib hissalarini qo‘shganlar.

Mahalliy xomashyo hisoblangan Qorao‘zak vermikuliti qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali ionitlar olish qonuniyatlarini tadqiq qilish, olingan ionitlarning kimyoviy, termik barqarorliklari va sorbsion xossalari tekshirish, ion almashinuvchi xossaga ega import o‘rnini bosuvchi ionitlar sintez qilishga olib keladi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim yoki ilmiy tadqiqot muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Chirchiq davlat pedagogika universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasining PZ-20170926416 “Mahalliy xomashyolar asosida olingan ionitlar ishtirokida texnologik eritmalar va oqava suvlari tarkibidan metall ionlarini ajratib olish” (2018-2020-yy.) amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi: vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali ionit olish, ularning fizik-kimyoviy xossalari va sorbsion qobiliyatini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Qorao‘zak vermikulitni qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali yangi ion almashinuvchi materiallar olishning maqbul sharoitlarini aniqlash;

olingan ion almashinuvchi materiallarning kimyoviy tarkibi, tuzilishini zamonaviy usullar yordamida o‘rganish hamda fizik-kimyoviy xususiyatlarini tadqiq qilish;

sintez qilingan ion almashinuvchi materiallarning turli ionlarga nisbatan sorbsion xossalari tadqiq etish;

mahalliy xomashyo Qorao‘zak vermikuliti asosidagi yangi ion almashinuvchi materiallarning qo‘llanilish sohaslarini aniqlash.

Tadqiqotning obyekt vermikulit, polietilenpoliamin, formaldegid, ionitlar va og‘ir metall tuzlari hisoblanadi.

Tadqiqotning predmeti vermikulit, polietilenpoliamin va formaldegidishtirokida olingan sorbentning sorbsiya kinetikasi, izotermasi, dinamik va statik sorbsiya, desorbsiya, regeneratsiya, jarayonlar termodinamikasidan iborat.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlar jarayonida IQ-spektroskopiya, termogravimetrik analiz, differensial termik analiz, element analiz, skanerlovchi elektron mikroskopiya, Rentgen fazoviy analiz, azot bug‘i adsorbsiyasi kabi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari hamda ion muvozanat, adsorbsiya jarayonlari kinetikasi, izoterma modellari, termodinamikasi haqidagi zamonaviy nazariyalarda ishlatiladigan tenglamalar qo‘llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ilk bor Qorao‘zak vermikulitiga polietilenpoliamin orqali aminoguruhlarini formaldegid ishtirokida choklash natijasi olingan anionitning fizik-kimyoviy xususiyatlari o‘rganilib, tarkibida ham anorganik ham organik matritsalar tutgan uch o‘lchamli vermikulit-polietilenpoliamin va formaldegid asosida olingan yangi anionit (VMT-PFA) olishning maqbul sharoitlari aniqlangan;

olingan yangi kompozitning fizik-kimyoviy xossalarini tekshirish orqali sirt yuzasi, g‘ovaklik darajasi, sorbsion xususiyati yuqori ekanligini aniqlangan, shuningdek, termik va kimyoviy barqarorligi jihatidan sanoatda miqyosida amaliyotda qo‘llanilayotgan anionitlarga nisbatan yuqori ekanligi isbotlangan;

yangi VMT-PFA anionitga eritmalaridan Cu(II), Co(II), Ni(II), Cr(VI) va Mn(VII) ionlari yutilishining kinetik va termodinamik parametrlari matematik-statistik tahlil natijasida, jarayonning kimyoviy sorbsiya qonuniyatlari asosida borganligi aniqlangan;

olingan yangi anionitning sanoat korxonasi oqava suvlari tarkibidan Cu (II) ionlarini tozalash uchun takroriy sorbsiya va desorbsiya jarayonlari o‘rganilganda, uning sorbsion xossalari 12 % ga kamaygan, bu esa ushbu anionitni sanoat chiqindi oqava suvlarini tozalashda ko‘p marotaba takroriy qo‘llash mumkinligi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

mahalliy xomashyo Qorao‘zak vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali yangi VMT-PFA anionit olingan;

olingan VMT-PFA anionitni “O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ sanoat chiqindi suvlari tarkibidagi Cu(II) ionlarini samarali yutishi aniqlangan;

IL-4821091630 raqamli “Kremniy va mezagenik templatlarning alternativ manbalari asosida tartiblangan mezag‘ovakli materiallar sintezi hamda fizik-kimyoviy xususiyatlari” deb nomlangan amaliy loyihada sintez qilingan VMT-PFA anionit suv tarkibidan Cu^{2+} , Ni^{2+} va $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlarini suvli eritmalaridagi konsentratsiyasini kamayishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi infraqizil (IQ) - spektroskopiya, termogravimetrik analiz, differensial termik analiz, miqdoriy va sifat rentgenografik tahlil, skanerlovchi elektron mikroskopiya, azot PSA (bosimning tebranishi adsorbsiyasi) kabi zamonaviy fizik-kimyoviy usullar hamda ion muvozanat, adsorbsiya jarayonlari kinetikasi, izoterma modellari, termodinamikasi haqidagi zamonaviy nazariyalarda ishlatiladigan tenglamalarni qo‘llash orqali

olingan natijalarni tahlil qilish bilan xulosalar chiqarilgan hamda matematik statistika usullari bilan qayta ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati geterogen sharoitda Qorao‘zak vermikulitiga polietilenpoliaminni formaldegid ishtirokida choklash orqali tarkibida ham anorganik ham organik matritsa tutgan uch o‘lchamli strukturaga ega funksional VMT-PFA ion almashinuvchi polimer material olishning kinetikasini va olingan kompozitning fizik-kimyoviy xossalarini tadqiq qilish orqali jarayon borishini boshqarish va kerakli xossaga ega bo‘lgan anionit olish mumkinligini bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati mahalliy xomashyo Qorao‘zak vermikulit asosida olingan VMT-PFA anionit yordamida sanoat chiqindi oqava suvlarni ekologiyaga salbiy ta‘sir ko‘rsatuvchi turli xil zaharli va og‘ir metall ionlaridan tozalash, gidrometallurgiya sanoatida texnologik eritmalarni konsentratsiyalash va rangli metallarni ajratib olishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Mahalliy xomashyo Qorao‘zak vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali sintez qilingan ionitlarining fizik-kimyoviy xossalari bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

sintez qilingan VMT-PFA anionit “O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ chiqindi suvlari tarkibidagi Cu(II) metall ionlariga nisbatan selektivligi bo‘yicha sorbent sifatida amaliyotga joriy etilgan (“O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ ning 2024-yil 2024-yil 19-dekabrdagi №03/03-351-sonli ma‘lumotnomasi). Natijada ushbu VMT-PFA anioniti “O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ chiqindi suvlar tarkibidagi Cu(II) ionlarini 1,26 % gacha kamaytirish imkonini bergan;

Qorao‘zak vermikulit asosida olingan anionit IL-4821091630 raqamli “Kremniy va mezagenik templatlarining alternativ manbalari asosida tartiblangan mezag‘ovakli materiallar sintezi va fizik-kimyoviy xususiyatlari” amaliy loyihada sorbent sifatida qo‘llanilgan (O‘zR FA 2023-yil 31-maydagi № 4/1255-1182-sonli ma‘lumotnomasi). Natijada VMT-PFA anionit yordamida oqova suvni tarkibidagi Cu^{2+} , Ni^{2+} va $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionlarini suvli eritmalaridagi konsentratsiyasini kamaytirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 10 ta, jumladan, 8 ta xalqaro va 2 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 6 ta maqola respublika, 4 ta maqola xorijiy jurnallarda, jumladan, 1 ta scopus bazasida mavjud (Asian Journal of Chemistry, Q4) jurnallarda maqola nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyasi tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, adabiyotlar ro‘yxati, ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 116 sahifani tashkil qiladi.

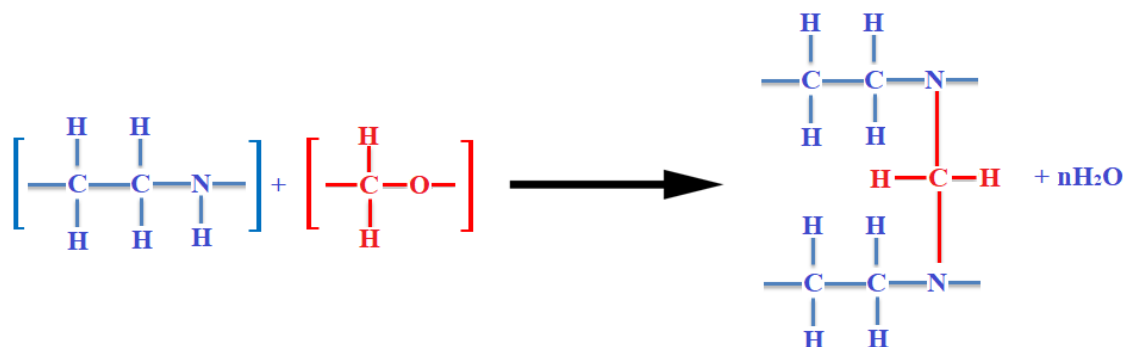
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o‘tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekti va predmetlari tavsiflangan, Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati yoritilgan, natijalarni amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Vermikulit asosida olingan ion almashinuvchi materiallarning olinishi va fizik-kimyoviy xossalari (adabiyotlar sharhi)”** deb nomlangan birinchi bobida, turli xil ionitlarning olinishi va fizik-kimyoviy xossalari, choklash jarayonlarning sharoitlari hamda ionitlarni sanoatda qo‘llanilish sohalari keltirilgan. Xususan, vermikulitni turli sharoitlarda choklash orqali ion almashinuvchi materiallar olinishi va fizik-kimyoviy xossalari bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan. Ion almashinuvchi materiallarning olinishi va ishlatilishi bo‘yicha ilmiy-texnika yangiliklari o‘rganilib, turli xil ion almashinuvchi materiallarni maqsadli qo‘llash tendensiyalari tahlil qilingan. Mavzuning dolzarbligi va ahamiyati asoslangan, berilgan xossalar majmuiga ega ion almashinuvchi materiallarning zaruriyati to‘g‘risida xulosalar keltirilgan. Tahlillar natijasida vermikulitni modifikatorlar ishtirokida choklab olingan turli ionitlar orqali tabiiy va antropogen ekologik tangliklarni bartaraf qilishda olib borilayotgan xorijiy hamda respublikamiz olimlarining ilmiy ishlari ham shu bobda keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Qorao‘zak vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali ionitlar olinishi”** deb nomlangan ikkinchi bobida, Qorao‘zak vermikulitini polietilenpoliamin hamda formaldegid orqali choklab, tarkibida $-NH_2$ va $-NH$ guruhlar tutgan anionit olish jarayonining qonuniyatlari haqida ma’lumotlar berilgan.

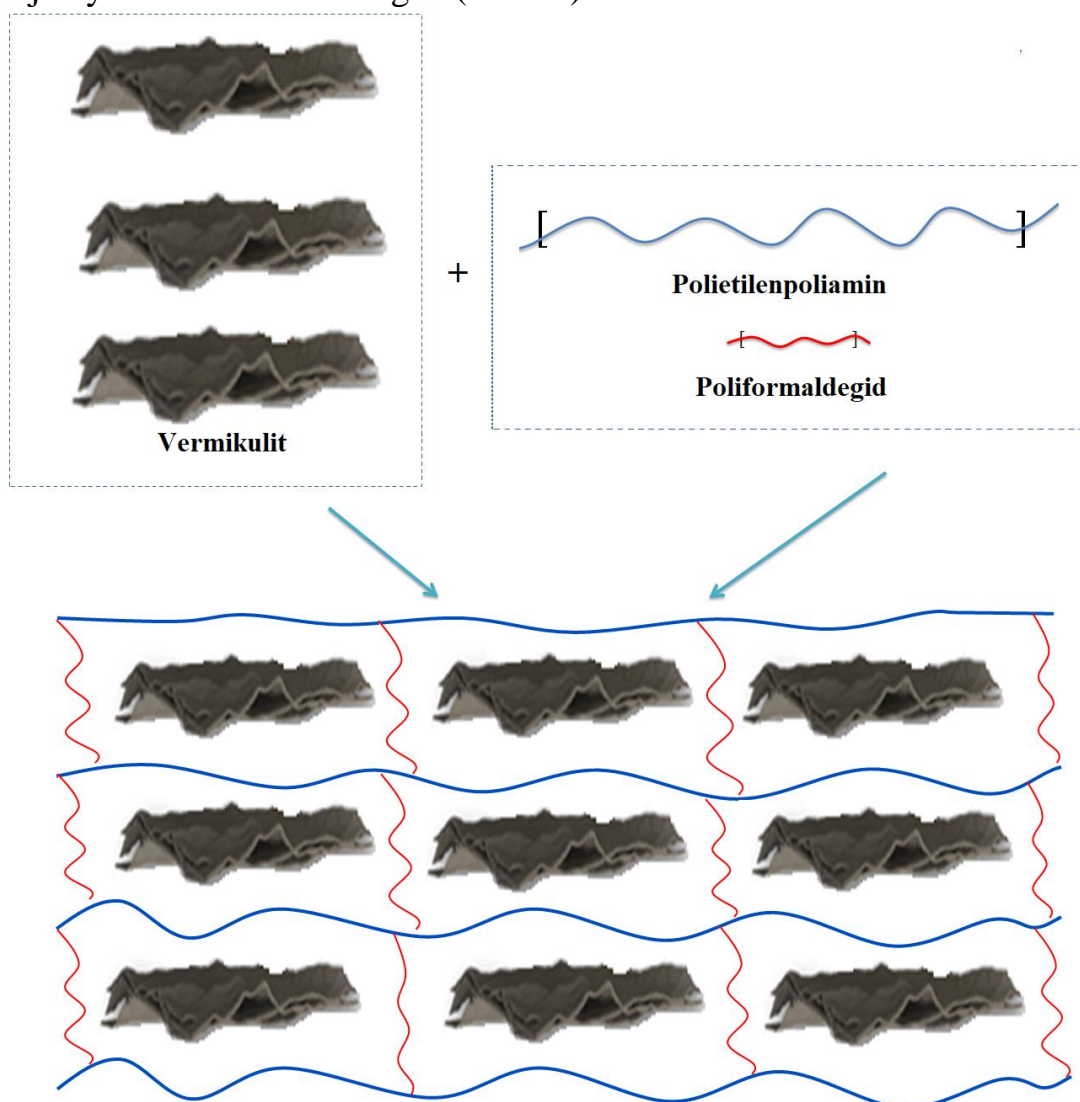
Vermikulitni polietilenpoliamin (PEPA) va formaldegid asosida choklash orqali yangi kompozit olindi. Buning uchun vermikulitni polietilenpoliamin (PEPA) bilan qizdirilib aralashtirildi, shundan so‘ng ma’lum vaqtda formaldegid qo‘shildi, polietilenpoliamin (PEPA) bilan formaldegid reaksiyasi o‘z-o‘zidan sodir bo‘ladigan, ekzotermik, ya’ni ko‘p miqdorda issiqlik chiqadigan jarayondir:



Qorao‘zak vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali ion almashinuvchi material olish maqbul sharoitlari bo‘yicha standart sharoitni o‘rganish maqsadida stakanda polietilenpoliamin hamda vermikulit aralashtirib, qizdirgan holatda jarayon olib borildi. So‘ngra

aralashmaga 5 gr formaldegid solindi va reaksiya germetik avtoklav yoki kolbaqizdirgichda turli harorat hamda massa nisbatlarda, 1 soatdan 14 soatgacha vaqt davomida amalga oshirildi.

Quyida vermikulitni polietilenpoliamin (PEPA) va formaldegid bilan choklash jarayoni sxemasi keltirilgan (1-rasm):

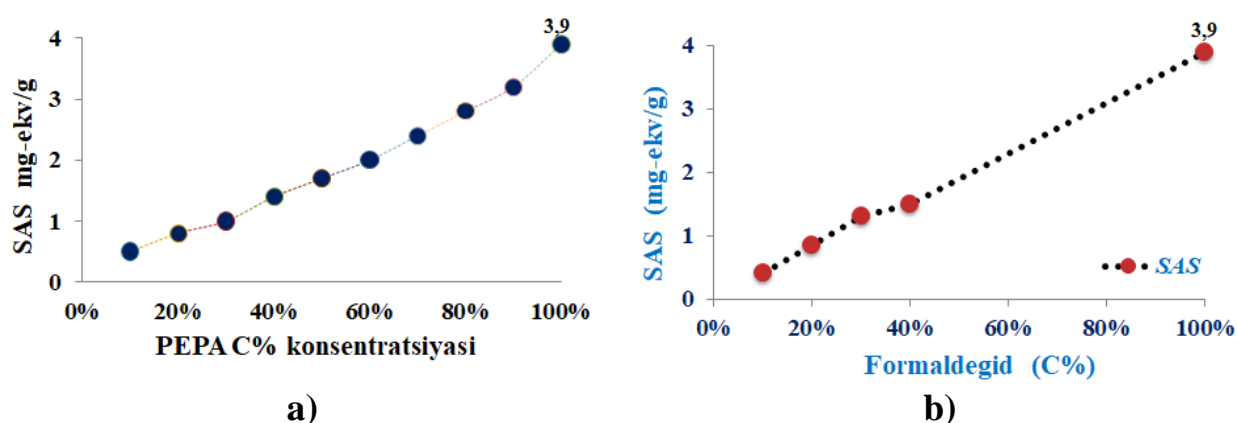


1-rasm. Qorao‘zak vermikulitini polietilenpoliamin hamda formaldegid orqali choklash sxemasi

Qorao‘zak vermikulitini polietilenpoliamin hamda formaldegid orqali choklash natijasida yangi anioniti olishning turli xil faktorlarga ta‘sirini o‘rganish natijalari, tavsiflari keltirilgan.

Dastlab statik almashinuv sig‘imi qiymati(SAS)ning polietilenpoliamin va formaldegid konsentratsiyasiga bog‘liqligi o‘rganildi. Polietilenpoliamin va formaldegidning yuqori konsentratsiyali namunalaridan foydalanilganda SAS qiymati yuqori bo‘lishi aniqlangan. Bunga asosiy sabab sifatida sistemada suv miqdorining kamligi choklash unumining yuqori bo‘lishiga olib kelgan degan fikr yuritish mumkin (2-rasm).

2-rasm. VMT-PFA anionitning SAS qiymatining polietilenpoliamin(a) hamda formaldegid(b) konsratsiyasiga bog‘liqligi (413 K)



Vermikulitni polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash jarayonlari turli harorat ta’siri o‘rganildi. Choklash jarayonida muhit harorati ortishi bilan hosil bo‘lgan anionitning SAS qiymati 413 K gacha ortgan, haroratni keyingi oshirilishi statik almashinish sig‘imi kamayishiga olib kelgan, bunga termik destruksiya sabab ekanligini xulosa qilish mumkin.

Olib borilgan ilmiy tadqiqot ishi tufayli Qorao‘zak vermikulitini polietilenpoliamin (PEPA) ishtirokida choklash harorat bo‘yicha maqbul sharoit 413 K qilib belgilandi (1-jadval).

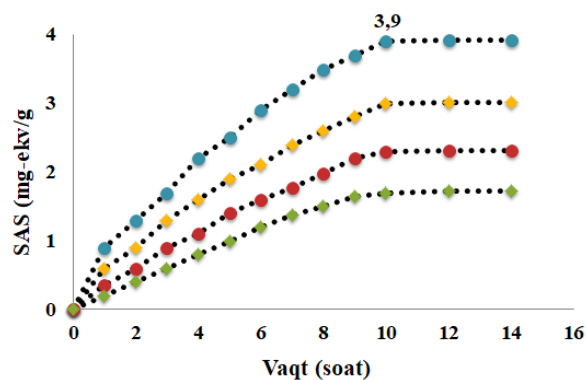
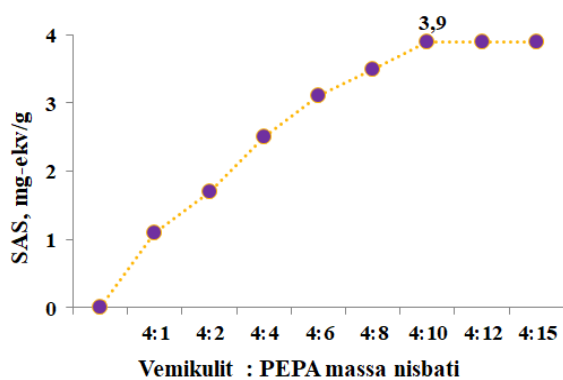
1-jadval

Qorao‘zak vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash jarayonining turli xil haroratlarda SAS qiymatlari o‘zgarishi (massa nisbat 4:10)

Harorat (K)	333	353	373	393	413	433	473
°C	60	80	100	120	140	160	200
SAS, mg-ekv/g	1,1	1,7	2,2	2,6	3,9	3,6	3,2

Qorao‘zak vermikulitini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash reaksiyalari turli nisbatlarda ham o‘rganilgan bo‘lib, vermikulit va polietilenpoliamin (PEPA) massa va hajmiy nisbatlari mos ravishda 4:1, 4:2, 4:4, 4:6, 4:8, 4:10, 4:12 va 4:15 hamda reaksiyon muhit harorati 333, 353, 373, 393, 413, 433 va 473 K haroratlarda hamda 30 minut, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 soat davomida o‘rganildi. Vermikulitni polietilenpoliamin-formaldegid ishtirokida choklash jarayoniga ta’sir qiluvchi omillar, olingan kompozitning HCl bo‘yicha statik almashinish sig‘imi (SAS) qiymatiga asoslanib o‘rganildi.

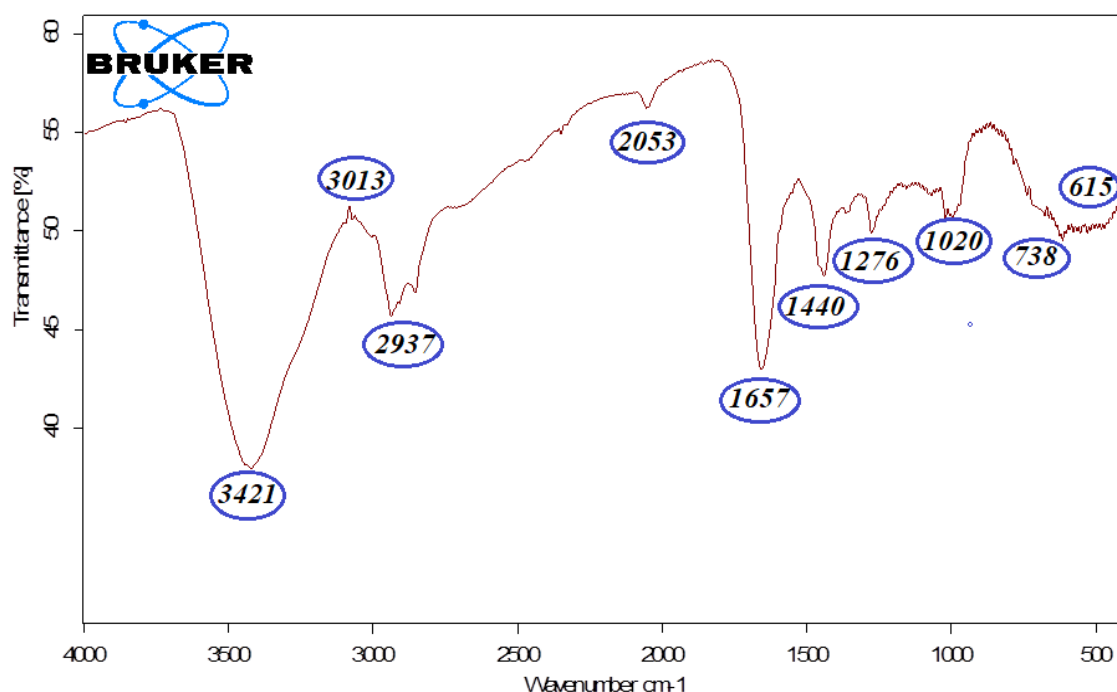
3a-rasmdagi ma’lumotlardan ko‘rinib turibdiki, vermikulitga qaraganda polietilenpoliamin massa nisbati ortgan sari olingan VMT-PFA anionitning xlorid kislota bo‘yicha statik almashinish sig‘imi 4:10 massa nisbatgacha ortib borgan, keyin esa deyarli o‘zgarmay qolgan. Bunga sabab, polietilenpoliamin kam miqdorda bo‘lganligi uchun choklash unumi past, polietilenpoliamin miqdori ortgan sari unumning bo‘lishiga olib kelgan.



3-rasm. VMT-PFA anionitning SAS qiymatiga Vermikulit, polietilenpoliamin va formaldegid massa nisbati (a), choklash vaqtiga bog‘liqligi (b) (T=413 K)

Olib borilgan ilmiy tadqiqot natijalari (3 b-rasm) shuni ko‘rsatdiki, vermikulitni polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash davomiyligini 10 soatgacha oshirib borilganda olingan ion almashinuvchi materialning SAS qiymati ortib bordi, 12 va 14 soatlarda olib borilganda deyarli o‘zgarish kuzatilmadi. Bundan xulosa qilish mumkinki, vermikulitni polietilenpoliamin-formaldegid bilan choklash maqbul vaqti 10 soat etib belgilandi.

Qorao‘zak vermikulitini polietilenpoliamin (PEPA) hamda formaldegid ishtirokida choklash natijasida olingan ion almashinuvchi materialni identifikatsiya qilish va tarkibidagi mavjud funksional guruhlarini aniqlash maqsadida FT-IR spektraskopik tahlili qilindi, olingan natijalar quyidagi 4-rasmda keltirilgan.



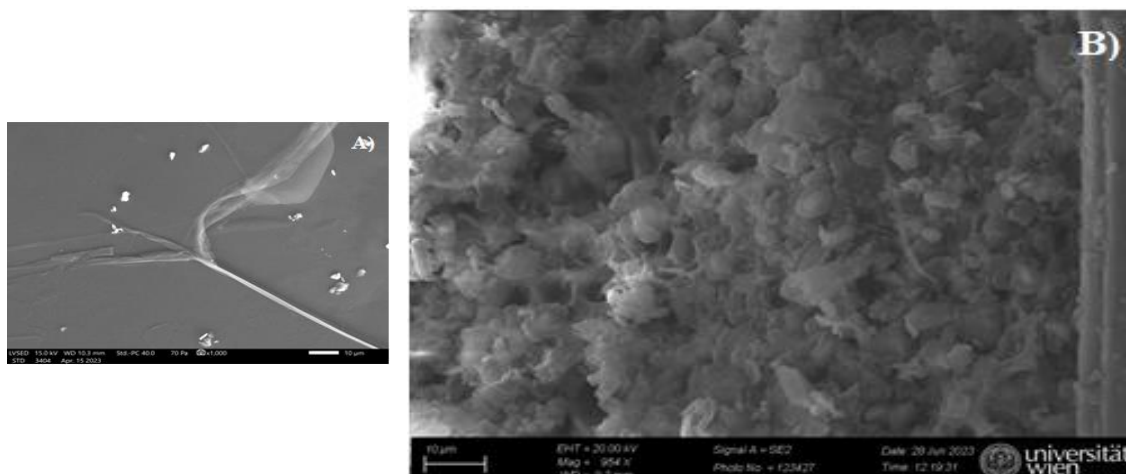
4-rasm. VMT-PFA anionitning materiallarning FT-IR spektrlari

4-rasmda Vermikulit-polietilenpoliamin-formaldegid kompoziti IQ-spektr tasviri shuni ko‘rsatadiki, 3421.69 cm^{-1} yutilish cho‘qqilari -OH guruhga mos kelishi, tarkibida ma‘lum miqdorda suv borligi, kengaytirilgan vermikulitda ushbu yutilish cho‘qqisi kamayishi, tarkibidagi suv miqdorining kamayishi bilan

bog‘liq bo‘lishi mumkin. 2937.99 cm^{-1} dagi yutilish cho‘qqisi $-\text{CH}_2$ – nosimmetrik va assimmetrik guruhga to‘g‘ri kelib, bu vermikulit qatlamlari orasida organik birikma kiritilganligi va organik modda saqlovchi vermikulit olinganligidan dalolat beradi. 3013.37 cm^{-1} sohada amino ($-\text{NH}_2$) hamda imino ($-\text{NH}$) guruhlarining yutilish chizig‘i bo‘lib, bu polietilenpoliamin organik birikmasi tarkidagi amino ($-\text{NH}_2$) hamda imino ($-\text{NH}$) guruhlar ekanligini ko‘rsatadi. Mos ravishda 2053.90 cm^{-1} , 1657.43 cm^{-1} va $1440-1276.45 \text{ cm}^{-1}$ yutilish cho‘qqisi C-C, C=O, C-N guruhlariga to‘g‘ri keladi.

-C=O guruhga tegishli yutilish cho‘qqisi 1658.31 da yuqori intensivlikda namoyon bo‘lgan. $996.17-1069.05\text{-cm}^{-1}$ yutilish cho‘qqisi Si-O, $738,36 \text{ cm}^{-1}$ yutilish cho‘qqisi Al-O hamda $439-615.06 \text{ cm}^{-1}$ yutilish cho‘qqisi Fe-O guruhlarining mavjudligi, vermikulit alyuminosilikatlarga mansub ekanligini xulosa qilishimiz mumkin.

Quyidagi 5-rasmda vermikulitni choklashdan oldingi (a) va keyingi (b) skanerlovchi elektron mikroskopdagi tasvirlari keltirilgan. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, vermikulitni skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) tahlilining natijalariga ko‘ra, choklashdan oldin polimer materialning sirt yuzasi silliq ko‘rinishga ega bo‘lgan, choklash jarayonidan keyin esa uning sirt yuzasi notekis



5-rasm. Vermikulit va olingan ionitning SEM mikrografiyasi (A) – kengaytirilgan vermikulit, (B) – VMT-PFA anionit

g‘ovakli ko‘rinishga o‘tganini ko‘rish mumkin. Bizga adabiyotlardan ma‘lumki, qattiq moddalarda g‘ovaklilik darajasi va sirt yuzasi ortishi bilan materialning sorbsion xossalari ham ortib boradi.

Dissertatsiyaning **“Qorao‘zak vermikulit qatlamlarini polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali olingan ionitlarning fizik-kimyoviy xossalari”** deb nomlangan **uchinchi bobida**, vermikulitni polietilenpoliamin va formaldegid ishtirokida choklash orqali olingan VMT-PFA anionitning sirt yuzasi, g‘ovaklik darajasi, termik va kimyoviy barqarorligi, anionitga turli xil metall ionlarining sorbsiyasining fizik-kimyoviy qonuniyatlari tadqiq qilingan.

2-jadvalda Vermikulit hamda vermikulitni PEPA va formaldegid asosida choklash orqali olingan kompozitsion materialning azot bug‘i adsorbsiyasi tahlil

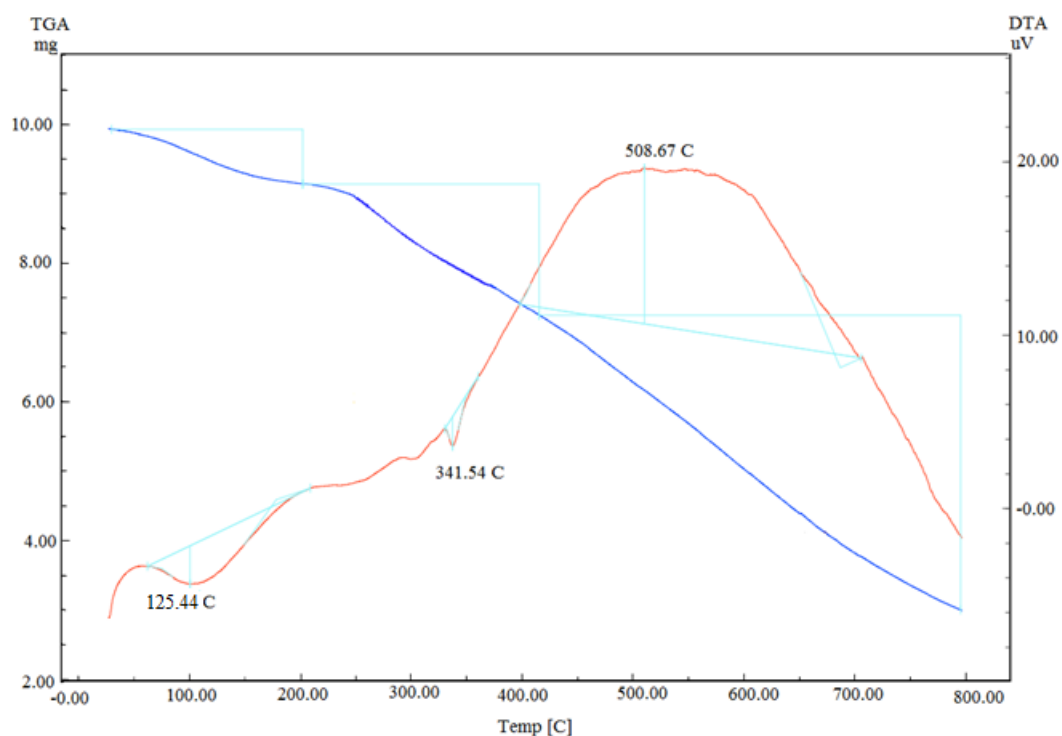
natijalari o'rganilgan bo'lib, tahlil orqali g'ovaklik o'lchamlari hamda solishtirma yuzasi haqida ma'lumot berilgan.

2-jadval

Vermikulit hamda vermikulitni PEPA va formaldegid asosida choklash orqali olingan VMT-PFA anionitning g'ovaklik o'lchamlari va solishtirma yuzasi

G'ovaklik o'lchamlari va solishtirma yuzasi	Kengaytirilgan vermikulit		VMT-PFA anioniti	
	Å	nm	Å	nm
Makrog'ovak (W_{mac})	-	-	-	-
Mikrog'ovak (W_{mic})	18.97	1.897	13.8	1.38
Mezog'ovak (W_{mes})	164.5	16.45	91.64	9.164
Solishtirma yuza (S_{sol}) m ² /g	38.086		67.92	

Ushbu jadval orqali dastlabki kengaytirilgan vermikulitga qaraganda Vermikulitni PEPA va formaldegid asosida choklash orqali olingan kompozitsion materialning mikrog'ovak hamda mezog'ovak o'lchamlari vermikulitga organik modda kiritilishi sababli kichraygan, bu esa solishtirma yuzani (deyarli 2 barobar) hamda sorbsion xossani oshirishga yordam beradi.

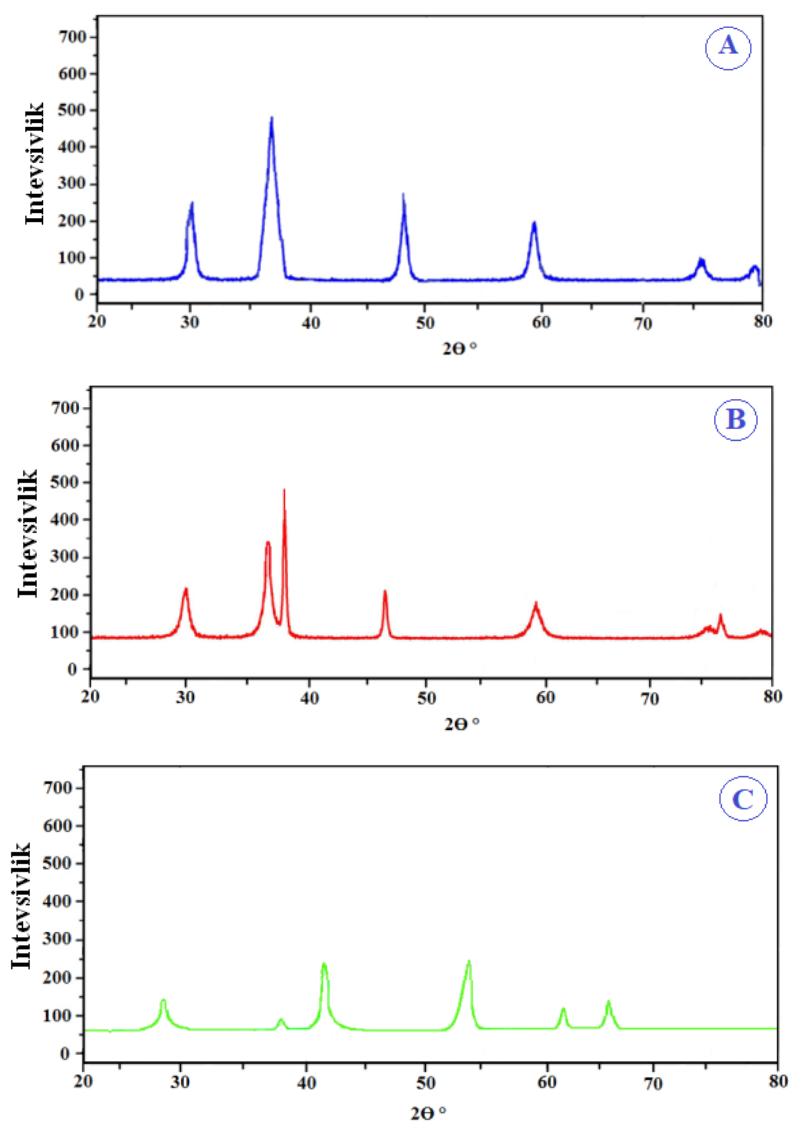


6-rasm. Qorao'zak vermikuliti (A), kengaytirilgan vermikulit(B) va VMT-PFA anionitning (C) derivatogrammasi

Qorao'zak vermikuliti hamda uning asosida olingan VMT-PFA anionitni termik barqarorligi Vengriyaning "MOM" firmasi "DERIVATOGRAF" termoanalitik qurilmasi yordamida 800 °C gacha haroratda o'rganildi (6-rasm).

Yuqoridagi 6-rasmdagi termogravimetriyasi (TG) va differensial issiqlik tahlili (DIT) ma'lumotlari asosida VMT-PFA anionit tarkibidagi suv va organik moddalar 100 °C atrofida parchalanganligi, olingan anionit tarkibiga organik moddalar kiritilganligi tufayli dastlabki xomashyo vermikulit va kengaytirilgan vermikulitga nisbatan termik barqarorligi kamayganligiga sabab bo'lgan, ya'ni VMT-PFA anionit 125.44 °C gacha termik barqaror ekanligi haqida xulosa qilishimiz mumkin. 341-508 °C gacha sorbentning massasi keskin kamayganligi destruksiya jarayoni shiddatli borganligini ko'rish mumkin.

Rengen fazaviy analiz orqali vermikulit xomashyosi, kengaytirilgan vermikulit hamda VMT-PFA anionitlarning rentgenografik tahlili olib borildi.



7-rasm. Qorao'zak vermikuliti(A), Kengaytirilgan vermikulit(B) hamda VMT-PFA(C) anionitning rentgenografik tahlili

Ushbu rasimga (7- A, B, C rasm) asoslanadigan bo'lsak, xomashyo vermikulit>kengaytirilgan vermikulit>VMT-PFA anionit qatorida olingan namunalarning kristallik darajasi kamayganligi, amorflik darajasi esa ortganligini ko'rishimiz mumkin.

30°, 38° va 60° sohalardagi piklar pasayganligi, 40° hamda 45° sohalarda esa piklarning yo‘qolganligi, vermikulitga qaraganda VMT-PFA anionitda amorflik xossasi ortganligini ko‘rishimiz mumkin, bu esa sorbsion xossasiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi adabiyotlardan ma’lum. 42°, 55°, 65° sohada yangi paydo bo‘lgan piklar esa vermikulitga polietilenpoliamin hamda formaldegid kiritilishi ta’sir etganligi bilan tushuntirish mumkin. Sintez qilingan ion almashinuvchi materiallarning kimyoviy barqarorligini aniqlash sanoat miqyosida sorbentlarga qo‘yilgan talablardan yana biri bo‘lib, buning uchun anionitlarga tegishli reagentlar (HNO₃, HClO₄, NaOH)da 298 K haroratda, 1440 va 2880 daqiqa vaqt davomida qoldirildi va o‘rganildi. NaOH esa 373 K harorat va 600 daqiqa vaqt oralig‘ida tekshirildi.

3-jadval

Anionitlarning kimyoviy barqarorligi

Eritma muhiti	Tadqiqot sharoiti		SAS, mg-ekv/g		$\frac{SAS_{ox}}{SAS_{bosh.ch}}$, %	Massa o‘zgarishi; %
	T, K	Vaqt (min)	oxir.	bosh.ch		
VMT-PFA anionit						
1% HNO ₃	298	2880	3,2	3,9	82,05	3,43
5% HNO ₃	298	2880	3	3,9	76,9	3,94
1% HClO ₄	298	2880	3,4	3,9	87,2	3,97
5% HClO ₄	298	2880	3	3,9	76,92	4,22
5% NaOH	373	600	3,7	3,9	94,88	1,94
AN-31 (Ammiak, Epixlorgidrin va PEI)						
1% HNO ₃	298	2880	1.29	2,32	51.8	1.30
5% HNO ₃	298	2880	1.62	2,32	78.8	-
1% HClO ₄	298	2880	0	2,32	0	17.2
5% HClO ₄	298	2880	0	2,32	0	17.4
5% NaOH	373	600	2.00	2,32	96.0	-
PMV-GA						
1% HNO ₃	298	2880	4,18	4,4	95,05	2.82
5% HNO ₃	298	2880	4,27	4,4	97,15	3.90
1% HClO ₄	298	2880	4,36	4,4	99,05	2.92
5% HClO ₄	298	2880	4,36	4,4	99,05	4.28
5% NaOH	373	600	4,28	4,4	97,33	2.05
PPE-1 (PVX va PEPA asosida)						
1% HNO ₃	298	2880	3,96	4,20	94,3	2.80
5% HNO ₃	298	2880	3,62	4,20	86,6	3.75
1% HClO ₄	298	2880	3,60	4,20	85,7	2.84
5% HClO ₄	298	2880	3,03	4,20	72,1	4.20
5% NaOH	373	600	3.91	4,20	93,1	2.10

3-jadvaldagi ma’lumotlarga asoslanadigan bo‘lsak, VMT-PFA anionit hozirgi kunda sanoatda miqyosida ishlatiladigan anionit AN-31 ga qaraganda yuqori kimyoviy barqarorlikka ega, PVX va PEPA ishtirokida olingan PPE-1

anionitga barqarorlik ko'rsatkichlari nisbatan yaqin ekanligini ko'rish mumkin. Shuningdek, VMT-PFA anionitning asosan 100 % mahalliy hamda tabiiy xomashyo bo'lganligi sababli iqtisodiy va ekologik jihatdan afzalikka ega hisoblanadi.

4-jadval

Cu(II), Co(II) va Ni(II) ionlarining VMT-PFA anionitga yutilish kinetikasi

Metall ionlari dastlabki kons. (g/l)		Psevdo-birinchi tartibli			Psevdo-ikkinchi tartibli		
		Muvozanat adsorbsiya miqdori, $Q_e(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$K_1(\text{min}^{-1})$	R^2	Muvozanat adsorbsiya miqdori, $Q_e(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$K_2(\text{min}^{-1})$	R^2
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Cu (II)	1,6	82,4	8,52115E-07	0,9183	110,95	1,61928E-05	0,9844
	3,2	86,67	8,55826E-07	0,9389	118,67	1,68038E-05	0,9939
Co (II)	5,9	83,3	9,45809E-07	0,9391	99,2	2,28228E-05	0,9657
	14,7	92,8	8,31529E-07	0,9485	107,3	3,57016E-05	0,9962
Ni (II)	0,74	42,2	9,08E-07	0,9443	59,42	1,12488E-05	0,988
	1,47	45,78	8,85E-07	0,9685	76,6	2,30785E-05	0,9969

VMT-PFA anionitga Cu (II), Co(II) va Ni(II) ionlarining sorbsiyasi kinetikasi qonuniyatlarini aniqlash maqsadida, sorbsiya jarayoni kinetikasining psevdo-birinchi-tartibli va psevdo-ikkinchi-tartibli kinetik modellar bo'yicha tahlil qilish amalga oshirildi. Korrelyatsiya koeffitsiyenti qiymatiga asoslanib, jarayon psevdo ikkinchi tartibli kinetik modelga mos kelishi aniqlandi (4-jadval).

Vermikulit asosida olingan, tarkibida azot saqlagan, kuchsiz asos xossasini namoyon qiluvchi anionitga, sun'iy eritmalaridan Cu(II), Co(II) va Ni(II) metall ionlarining sorbsiya jarayoni izoterma qonuniyatlari o'rganilgan (5-jadval).

5-jadval

Cu(II), Co(II), Ni(II) metall ionlarining VMT-PFA anionitga sorbsiya jarayonlari (293, 303, 313 K) izotermik modellari eng muhim kattaliklari

Lengmyur izoterma modeli	Q_{\max}	K_L	R_L
Cu(II)	135,14	0,00247	0,1124
Co(II)	119,05	0,000096	0,414
Ni(II)	94,34	0,00883	0,01893
Freyndlix izoterma modeli	1/n	n	K_F
Cu(II)	0,459	2,177	2,878
Co(II)	0,3096	3,23	5,012
Ni(II)	0,265	3,78	12,9
D-R izoterma modeli	B_{D-R}	E	
Cu(II)	$6,45\cdot 10^{-3}$	9,12	
Co(II)	0,00206	9,8	
Ni(II)	95,3	9,114	

Temkin izoterma modeli	K_T	B_T	
Cu(II)	0,914	256,1	
Co(II)	0,0123	145,6	
Ni(II)	0,143	440,23	
Flory-Huggins izoterma modeli	n	K_{FH}	G_{ads}
Cu(II)	1,945	3453	-22,84
Co(II)	1,92	4055	-20,86
Ni(II)	1,82	4039	-20,78

Cu(II), Co(II) va Ni(II) ionlarining sorbsiyasining muvozanati holati uchun qo‘llaniladigan zamonaviy izoterma modellaridan: Lengmyur, Freyndlix, Flori-Xaggins, Temkin va Dubinin-Radushkevich modellari o‘rganilganda korrelyatsiya koeffitsiyenti qiymati mos ravishda R^2 (0,9231–0,9995), ($R^2=0,8057–0,9939$) R^2 (0,499–0,9995)ga teng ekanligi aniqlandi. Cu(II) uchun Dubinin-Radushkevich< Freyndlix<Temkin<Flori-Xaggins<Lengmyur, Co(II) uchun Dubinin-Radushkevich<Flori-Xaggins<Temkin<Freyndlix<Lengmyur hamda Ni(II) uchun Temkin<Dubinin-Radushkevich<Flori-Xaggins<Freyndlix<Lengmyur qatorida bu qiymat ortib borganligini ko‘rishimiz mumkin.

6-jadval

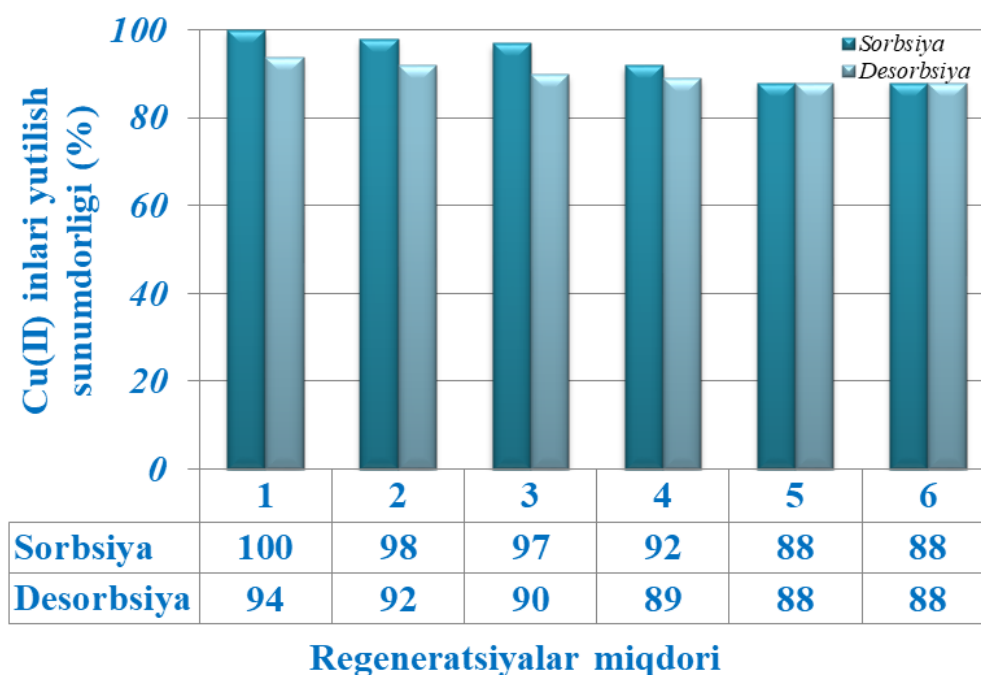
$Cr_2O_7^{2-}$ va MnO_4^- ionlarining VMT-PFA anionitga sorbsiya jarayonlari (293, 303, 313 K) izotermik modellari eng muhim kattaliklari

Lengmyur izoterma modeli		Q_{max}	K_L	R_L	R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 K	140,85	0,004052	0,0453	0,9994
MnO_4^-	313 K	113,64	0,00883	0,1922	0,9902
Freyndlix izoterma modeli		1/n	n	K_F	R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 K	0,5618	1,78	1,0486	0,9566
MnO_4^-	313 K	0,69	1,448	1,5382	0,9843
Temkin izoterma modeli		K_T	B_T		R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 K	0,01585	115,678		0,9794
MnO_4^-	313 K	0,08678	124,3		0,9676
D-R izoterma modeli		B_{D-R}	E		R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 K	0,00202	16,34		0,9736
MnO_4^-	313 K	0,001895	15,95		0,8971
F-H izoterma modeli		n	K_{FH}	G_{ads}	R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 K	2,08	4147,6	-15,4	0,9367

MnO_4^-	313 K	1,98	5590	-13,4	0,9659
-----------	-------	------	------	-------	--------

Yuqorida 6-jadvalda Cr(VI) va Mn(VII) ionlarining sorbsiyasining muvozanati holati uchun izoterma modellaridan: Lengmyur, Freyndlix, Flori-Xaggins, Temkin va Dubinin-Radushkevich modellari o‘rganilganda korrelyatsiya koeffitsiyenti qiymatiga qarab sorbsiya jarayoni ikkala anion uchun ham Lengmyur izoterma ushbu mos kelishini tushunimiz mumkin.

Ayni tadqiqot ishida VMT-PFA anionitga Cu (II) ionlarining sorbsiya va desorbsiyasi 6 martagacha takror-takror qo‘llanilganda (8-rasm), anionitning yutish xususiyati 88 %gacha kamayganini kuzatish mumkin. Regeneratsiya jarayoni uchun xlorid kislotaning $0,1 \text{ mol}\cdot\text{litr}^{-1}$ konsentratsiyali eritmasi ishlatilgan.



8-rasm. VMT-PFA anionitni Cu (II) ionlarining yutish qobiliyatiga sorbsiya-desorbsiya sikllari sonining ta’siri

VMT-PFA anionitni fizik-kimyoviy xossalari bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida texnologik eritmalarini tozalash usuli “O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ da amaliyotga joriy qilingan (“O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ ning 2024-yil 19-dekabrda №03/03-351-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, Cu(II) metall ionlardan tozalovchi mini uskuna yaratilgan hamda oqava suvlari tarkibidagi Cu(II) metall ionlarini miqdorini 1,26 % gacha kamaytirish imkonini bergan.

IL-4821091630 raqamli “Kremniy va mezagenik templatlarining alternativ manbalari asosida tartiblangan mezag‘ovakli materiallar sintezi va fizik-kimyoviy xususiyatlari” deb nomlangan amaliy loyihada sintez qilingan VMT-PFA anionit qo‘llanildi (O‘zR FA 2023-yil 31-maydagi № 4/1255-1182-sonli ma’lumotnomasi).

Dissertatsiyaning “**Tajriba qism**” deb nomlangan **to‘rtinchi bobida** qo‘llanilgan reaktivlar, zamonaviy fizik-kimyoviy analiz qilish usullari hamda sorbent olish tajribalari tavsiflari keltirilgan.

XULOSALAR

1. Qorao‘zak vermikulitini qatlamlararo polietilenpoliaminni formaldegid ishtirokida choklash natijasida yangi VMT-PFA anionit olishda turli xil tashqi omillarning ta‘sirini tadqiq qilish natijasida sorbsion materialni olish jarayonning maqbul sharoitlari taklif qilindi.

2. Olingan VMT-PFA anionit tarkibi va tuzilishini zamonaviy fizik-kimyoviy usullar bilan identifikatsiyalash natijasida Qorao‘zak vermikulitiga ion almashinish xususiyatiga ega amino guruhlar ($-NH_2$ va $-NH-$) kiritilganligini aniqlash imkonini berdi.

3. Sintez qilingan VMT-PFA anionitni skanerlovchi elektron mikrofotografiyalari tahlili uning sorbsiyalash xossalarini oshiruvchi g‘ovak tuzilishga egaligini tasdiqlash imkonini berdi. Anionitning tekshirilgan fizik-kimyoviy xossalari sanoat miqiyosida suvdagi mavjud ionlarni ajratib olishda ishlatish talablariga mos kelishini ko‘rsatdi.

4. Qorao‘zak vermikulitini qatlamlararo polietilenpoliaminni farmaldegid ishtirokida choklash natijasida olingan VMT-PFA anionitga Cu (II), Co (II) hamda Ni (II) ionlarining yutilish kinetikasi tadqiq qilindi, shuningdek, sorbsiya jarayonining aktivlanish energiyasi hisoblab topildi, bunga ko‘ra D-R izoterma modeli bo‘yicha Cu (II), Co (II) hamda Ni (II) ionlarining anionitga yutilish aktivlanish energiyasi mos ravishda 9.12, 9.8 va 9.114 kJ/mol ni tashkil qildi, bu metall ionlarning anionitga ion almashinish reaksiyasi orqali sorbsiya bo‘lganini tasdiqlash imkoni berdi.

5. Olingan VMT-PFA anionitga sun‘iy eritmalaridan Cr (VI) ioni sorbsiya kinetikasi va izotermasini tadqiq qilish orqali, Cr (VI) ioni anionitga psevda ikkinchi tartibli kinetik model qonuniyatlari asosida yutilishini jarayon korrelyatsiya koeffitsiyenti orqali aniqlash imkonini berdi. Shuningdek, Cr(VI) va Mn(VII) ionlari sorbsiya jarayonlari izotermasi o‘rganilib, ularni Lengmyur izotema modeliga ko‘proq mos kelishi aniqlandi.

6. Qorao‘zak vermikuliti qatlamlararo polietilenpoliaminni formaldegid ishtirokida choklash natijasida olingan yangi VMT-PFA anionit sanoat korxonada oqava suvlarini Cu(II) ionlaridan tozalash uchun 6 marotaba sorbsiya va desorbsiya jarayonlari amalga oshirilganda, uning sorbsion xossalari 12 %ga kamaygani kuzatildi va natijada ushbu ionitni sanoat korxonalarida oqava suvlarini tozalashda ko‘p marotaba qo‘llash imkonini berdi.

7. VMT-PFA anionit samaradorligini baholash uchun olingan anionitni “O‘zbekiston texnologik metallar kombinati” AJ sanoat chiqindi suvlari tarkibidagi Cu(II)ga nisbatan sorbent sifatida qo‘llanildi hamda Cu(II) ionlaridan yuqori samara bilan yutilishi tekshirildi. Natijada tozalangan suv tarkibida Cu(II) ionlari 1,26 % qolganligi hamda 10 barobar kamayganligi aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.09.2020.K.82.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ЧИРЧИКСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ПЕДАГОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ЧИРЧИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ТУРСУНМУРАТОВ ОБИД ХАМЗАЕВИЧ

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИОНИТА, ПОЛУЧЕННОГО
НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛИТА**

02.00.06 - Высокомолекулярные соединения

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

Чирчик - 2025

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2021.3.PhD/K420.

Диссертация выполнена в Чирчикском государственном педагогическом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу Научного совета (www.cspi.uz.ilmiy-kengash) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyo.net).

Научные руководители:	Бекчанов Давронбек Жумазарович доктор химических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Каримов Махмуд Муратович доктор химических наук, профессор Туробов Хамза Турсунович доктор химических наук, профессор
Ведущая организация:	Ташкентский химико-технологический институт

Защита диссертации состоится « 30 » 04 2025 г. в 16⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.09.2020.K.82.02 по присуждению учёных степеней при Чирчикском государственном педагогическом университете. (Адрес: 111720, Ташкентская область, г.Чирчик, ул. Амира Темура, дом 104. Тел.: (+998) 70-716-68-05; факс: (+998) 70-716-68-11; e-mail: tvchdpi_k.kengash@umail.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Чирчикского государственного педагогического университета. Адрес: 111720, Ташкентская область, г.Чирчик, ул. Амира Темура, дом 104. Тел.: (+998) 70-716-68-05; факс: (+998) 70-716-68-11 (зарегистрирована за № 365).

Автореферат диссертации разослан « 17 » 04 2025 года.
(реестр протокол рассылки № 23 от 17.04 2025 года).



Зиядуллаев О. Э.
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.х.н., профессор.

Отамухамедова Г.К.
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, д.х.н.

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В настоящее время в мире наблюдается увеличение загрязнения сточных вод токсичными и химическими веществами в результате расширения промышленных предприятий, роста численности населения и их хозяйственной деятельности. В частности, ионы тяжёлых и токсичных металлов, содержащиеся в сточных водах промышленных и сельскохозяйственных объектов, создают серьёзные экологические проблемы. Для их решения широко применяются ионообменные технологии, с помощью которых осуществляется очистка загрязнённых сточных вод. В связи с этим синтез и производство ионитов с использованием местного сырья приобретает важное практическое значение.

Во всём мире ведутся научные исследования, направленные на получение ионитов с использованием современных методов синтеза, определение их физико-химических свойств, а также создание ионообменных материалов с новыми характеристиками. При этом особое внимание уделяется получению ионитов не только из синтетических, но и из дешёвого, природного и местного сырья, что особенно актуально в контексте очистки сточных вод.

В последние годы в нашей стране достигнуты значительные результаты в области получения полимерных материалов на основе местного сырья, заменяющих импорт и обладающих экономической эффективностью. В частности, в Стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 годы, утверждённой Президентом Республики Узбекистан, обозначены приоритетные задачи по развитию химической и газохимической промышленности, переработке природного газа, а также созданию кластера медной промышленности для производства меди и других продуктов. В этом контексте важное значение имеет химическая модификация местного сырья для синтеза ионитов и полимерно-металлических комплексов, изучение их физико-химических свойств и применение для химической и биологической очистки промышленных сточных вод.

Указ Президента Республики Узбекистан от 13 февраля 2021 года № PF-4992 «О дальнейшей реформе и финансовом оздоровлении предприятий химической промышленности, развитии производства химической продукции с высокой добавленной стоимостью», а также постановления Кабинета Министров от 25 октября 2018 года № PQ-3983 «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан» и от 3 апреля 2019 года № PQ-4265 «О дальнейшей

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № PF-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы

реформе химической промышленности и повышении ее инвестиционной привлекательности» предусматривают выполнение ряда задач, реализация которых, в том числе, может быть обеспечена результатами данного диссертационного исследования.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики – VII. Химическая технология и нанотехнология.

Степень изученности проблемы. В настоящее время получено множество новых материалов на основе вермикулита, которые применяются в промышленном масштабе. Зарубежные ученые, такие как Franklin D., R. Ortega, R. Levya-Ramos, L. Chmielarz, Z. Paweł, X. Baldrich, S. Moraes, S. Rodrigues, N. Gisele изучили свойства и области применения вермикулита, а также его лабораторные характеристики. Ученые из различных стран, включая Feng J., Moldir T., Pengfei Liu, N. G. Renganathan, Zubair Ahmed, Bruno de Paula, Hang Long, Pingxiao Wu, Marcin Banach, Meiqing Chen, Shanshan Mao, Mustafa Tuzen, Olga Freitas, внесли значительный вклад в это направление. Несмотря на то, что научные исследования в области вермикулита и бентионита (глинистых минералов) начались в нашей стране относительно недавно, ряд ученых, таких как D.A. Gafurova, P.J. Tojiyev, X. R. Tillayev, M.S. Sharipov, B.A. Aliyev, N.I. Fayzullayev, A.T. Jalilov, M.A. Askarov, S.Sh. Rashidova, U.N. Musayev, S.S. Negmatov, A.T. Djalilov, S.M. Turobjonov, T.M. Babayev, внесли свой достойный вклад в получение различных ионообменных материалов на основе полимеров и изучение их свойств.

Исследование закономерностей получения ионитов путем сшивки слоев вермикулита Кораозак, являющегося местным сырьем, с использованием полиэтиленполиамина и формальдегида, изучение химической и термической стабильности полученных ионитов, а также их сорбционных свойств, приведет к синтезу ионитов, обладающих ионообменными свойствами и заменяющих импортные аналоги.

Связь исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Исследование выполнено в рамках прикладного проекта PZ-20170926416 "Извлечение ионов металлов из технологических растворов и сточных вод с использованием ионитов, полученных на основе местного сырья" (2018-2020 гг.) в соответствии с планом научно-исследовательских работ Чирчикского государственного педагогического университета.

Цель исследования: получение ионита путем сшивки слоев вермикулита с помощью полиэтиленполиамина и формальдегида, а также изучение его физико-химических свойств и выявление сорбционной способности.

Задачи исследования: из поставленной цели вытекают следующие задачи:

определение оптимальных условий получения новых ионообменных материалов путем сшивки слоев вермикулита Кораозак с помощью полиэтиленполиами́на и формальдегида;

изучение химического состава и структуры полученных ионообменных материалов с помощью современных методов, а также исследование их физико-химических свойств;

изучение сорбционных свойств полученных ионообменных материалов в отношении различных ионов;

определение областей применения новых ионообменных материалов на основе местного сырья вермикулита Кораозак.

Объект исследования вермикулит, полиэтиленполиамин, полиформальдегид, иониты и соли тяжелых металлов.

Предмет исследования кинетика сорбции, изотермы, динамическая и статическая сорбция, десорбция, регенерация, термодинамика процессов сорбции сорбента, полученного с участием вермикулита и полиэтиленполиами́на.

Методы исследования. В ходе исследований использовались современные физико-химические методы, такие как ИК-спектроскопия, термогравиметрический анализ, дифференциальный термический анализ, элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, азотная порометрия, а также уравнения, применяемые в современных теориях ионного равновесия, кинетики процессов адсорбции, изотермических моделей и термодинамики.

Научная новизна исследования:

впервые изучены физико-химические свойства анионита, полученного путем сшивки аминогрупп на черноозекском вермикулите с использованием полиэтиленполиами́на в присутствии формальдегида. Определены оптимальные условия получения нового анионита (ВМТ-ПФА), содержащего как неорганическую, так и органическую матрицы на основе трехмерного вермикулит-полиэтиленполиами́на и формальдегида;

исследование физико-химических свойств нового композита показало, что он обладает высокой удельной поверхностью, пористостью и сорбционными свойствами. Кроме того, доказано, что его термическая и химическая стабильность превосходит промышленные аниониты, применяемые в практике;

проведен математико-статистический анализ кинетических и термодинамических параметров сорбции ионов Cu(II) , Co(II) , Ni(II) , Cr(VI) и Mn(VII) на новом анионите ВМТ-ПФА из растворов. Установлено, что процесс протекает в соответствии с законами химической сорбции;

при исследовании циклических процессов сорбции-десорбции Cu(II) ионов из сточных вод промышленных предприятий установлено, что сорбционные свойства нового анионита снизились всего на 12 %, что подтверждает возможность его многократного применения для очистки промышленных сточных вод.

Практические результаты исследования включают:

получен новый анионит ВМТ-ПФА путем сшивки слоев местного сырья-черноозекского вермикулита - с полиэтиленполиамином в присутствии формальдегида;

выявлена высокая эффективность сорбции Cu(II) ионов из сточных вод на предприятии «Узбекский технологический металлургический комбинат»;

в рамках проекта «Синтез упорядоченных мезопористых материалов на основе альтернативных источников кремния и мезогенных шаблонов» (№ ПЛ-4821091630) установлено, что ВМТ-ПФА снижает концентрацию Cu^{2+} , Ni^{2+} и $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ионов в водных растворах.

Достоверность результатов исследования подтверждена использованием современных физико-химических методов, таких как инфракрасная (ИК) спектроскопия, термогравиметрический анализ, дифференциальный термический анализ, количественный и качественный рентгенографический анализ, сканирующая электронная микроскопия, адсорбция азота методом колебания давления (PSA). Выводы сделаны на основе анализа полученных данных с применением уравнений, используемых в современных теориях ионного равновесия, кинетики адсорбционных процессов, изотермических моделей и термодинамики. Надежность результатов подтверждена их обработкой методами математической статистики.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что в гетерогенных условиях путём сшивания полиэтиленполиамина с участием формальдегида на черноузакском вермикулите была получена функциональная ионообменная полимерная композиция VMT-PFA, обладающая трёхмерной структурой, включающей как неорганическую, так и органическую матрицу. Изучение кинетики получения данного материала и его физико-химических свойств позволяет управлять процессом синтеза и получать анионит с заданными характеристиками.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что на основе местного сырья - черноузакского вермикулита — получен анионит VMT-PFA, который может эффективно применяться для очистки сточных вод от различных токсичных и тяжёлых металлических ионов, оказывающих негативное влияние на экологию. Кроме того, он может быть использован в гидрометаллургической промышленности для концентрирования

технологических растворов и извлечения цветных металлов. Практическая значимость также проявляется в возможности использования нового анионита, полученного на основе черноозёрского вермикулита, для очистки промышленных сточных вод от токсичных и тяжелых металлических ионов, а также для концентрирования технологических растворов и извлечения цветных металлов в гидрометаллургической промышленности.

Внедрение результатов исследования. На основании научных результатов изучения физико-химических свойств ионитов, синтезированных путем сшивания слоев вермикулита местного сырья Караозак в присутствии полиэтиленполиамина и формальдегида:

синтезированный анионит VMT-PFA был внедрён в практику в качестве сорбента по селективному извлечению ионов меди Cu(II) из сточных вод АО “Узбекский комбинат технологических металлов” (согласно справке №03/03-351 от 19 декабря 2024 года). В результате применения данного анионита удалось снизить содержание ионов Cu(II) в сточных водах предприятия до 1,26%;

анионит на основе черноозакского вермикулита также применён в качестве сорбента в рамках прикладного проекта с регистрационным номером IL-4821091630 - «Синтез упорядоченных мезопористых материалов и изучение их физико-химических свойств на основе альтернативных источников кремния и мезогенных шаблонов» (согласно справке №4/1255-1182 Академии наук Республики Узбекистан от 31 мая 2023 года). В ходе исследований установлено, что с помощью VMT-PFA анионита возможно снижение концентрации ионов Cu^{2+} , Ni^{2+} и $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ в водных растворах, что подтверждает его высокую сорбционную способность и эффективность в процессах очистки сточных вод.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были представлены и обсуждены на 10 научно-практических конференциях, включая 8 международных и 2 республиканских.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора философии (PhD), из них 6 статей в республиканских и 4 статьи в зарубежных журналах, включая одну статью в журнале индексируемым в базе Scopus (Asian Journal of Chemistry, Q4).

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

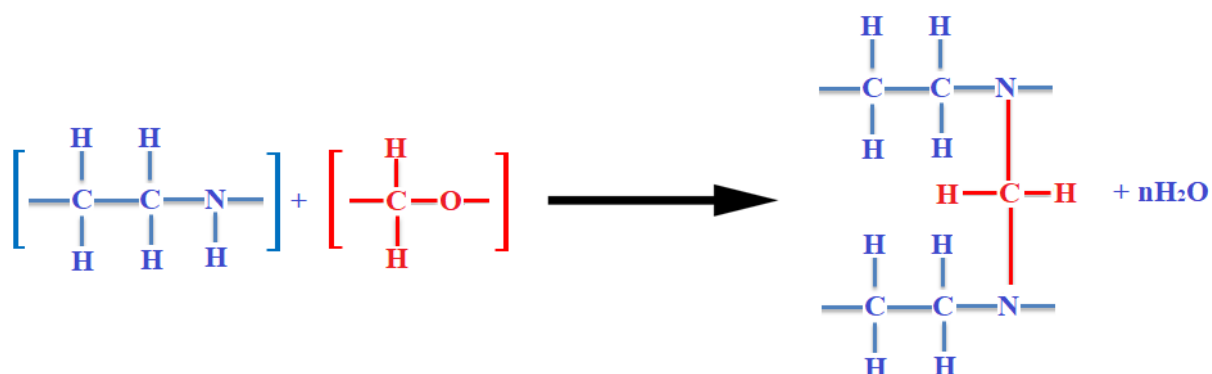
Во введении обоснованы актуальность и необходимость проведенных исследований, изложены цель и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, указано соответствие приоритетным

направлениям развития науки и технологий Республики, представлены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыто научное и практическое значение полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов в практику, опубликованных научных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Получение и физико-химические свойства ионообменных материалов на основе вермикулита (обзор литературы)»** приведены данные о получении и физико-химических свойствах различных ионообменных материалов, условиях процесса сшивки, а также областях применения ионообменных материалов в промышленности. В частности, приведены сведения о получении ионообменных материалов и их физико-химических свойствах путём сшивки вермикулита в различных условиях. Изучены научно-технические новшества в получении и применении ионообменных материалов, проанализированы тенденции целевого использования различных типов ионообменных материалов. Обоснована актуальность и значимость темы, приведены выводы о необходимости ионообменных материалов, обладающих определённым комплексом свойств. В результате анализа представлены научные исследования зарубежных и отечественных учёных, направленные на устранение природных и антропогенных экологических проблем с использованием различных ионитов, полученных путём сшивки вермикулита с модификаторами.

Во второй главе диссертации под названием **«Получение ионитов посредством сшивки слоёв караузьякского вермикулита с участием полиэтиленполиамин и формальдегида»** приведены сведения о закономерностях получения анионита, содержащего группы $-NH_2$ и $-NH$, путём сшивки вермикулита Кораозак с полиэтиленполиамином и формальдегидом.

На основе вермикулита и полиэтиленполиамин (ПЭПА) получен новый ионит. Для этого вермикулит с полиэтиленполиамином (ПЭПА) нагревали постоянно смешивая, после чего добавили порошок формальдегида (параформ), реакция формальдегида с полиэтиленполиамином (ПЭПА) представляет собой спонтанный экзотермический процесс, то есть процесс, сопровождающийся выделением большого количества тепла:



Для изучения стандартных условий сшивки слоев вермикулита Караозак с полиэтиленполиамином и с целью изучения оптимальных условий получения ионообменного материала травлением в присутствии формальдегида процесс осуществляли путем смешивания полиэтиленполиамины и вермикулита в стакане и нагревания. После чего в смесь добавили 5 гр формальдегида и провели реакцию в герметическом автоклаве или колбанагревателе при различной температуре и различных массовых соотношениях вермикулита и полиэтиленполиамин-формальдегида, в течение от 1 до 14 часов.

Ниже приведена схема сшивки вермикулита с полиэтиленполиамином (ПЭПА) и формальдегидом (Рис. 1.):

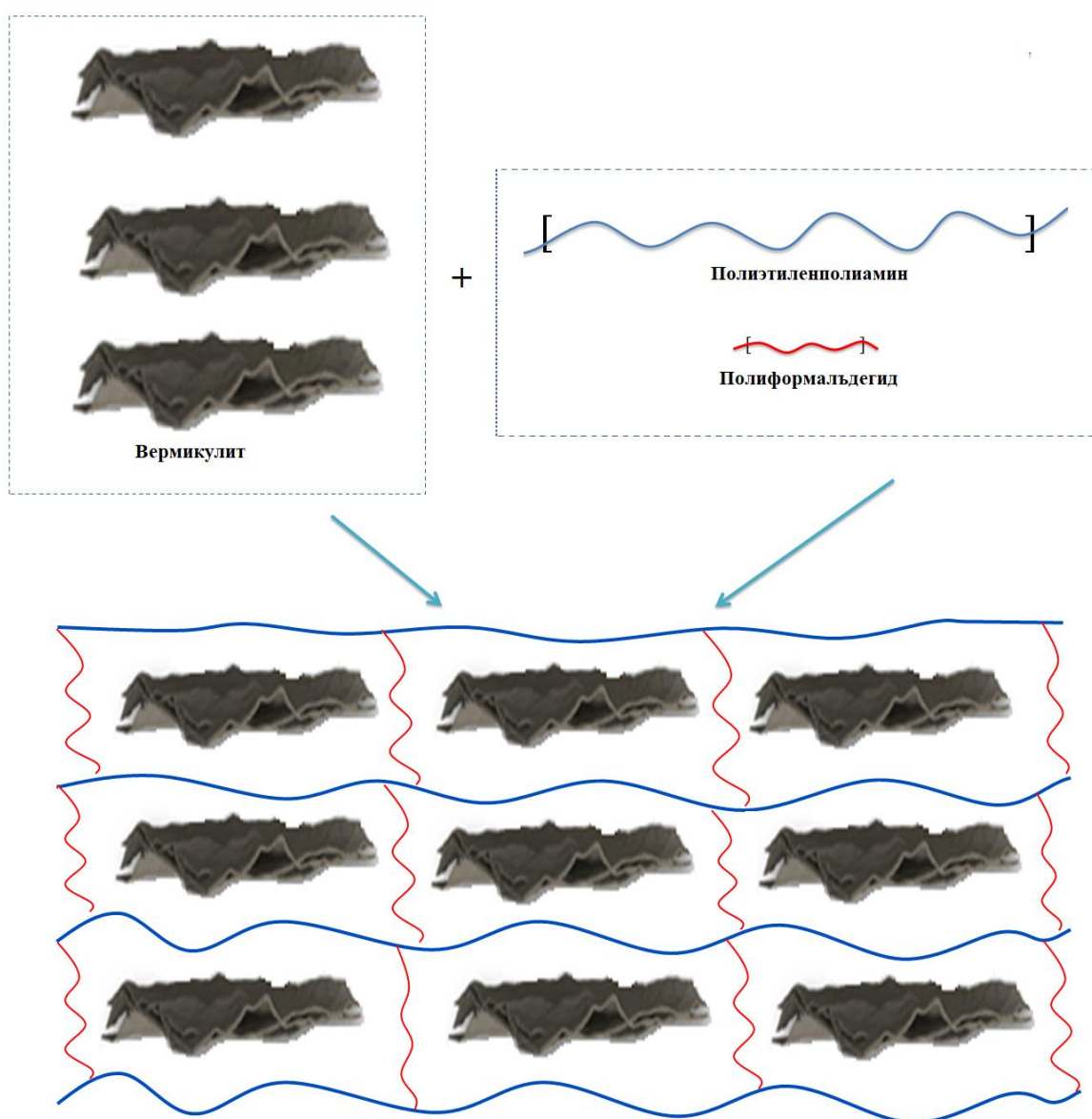


Рисунок 1. Схема сшивки караузьякского вермикулита с полиэтиленполиамином и формальдегидом.

Приведены результаты и характеристики исследования влияния различных факторов на получение нового анионита в результате сшивки караузьякского вермикулита с полиэтиленполиамином и формальдегидом.

В первую очередь изучена зависимость значения статической обменной ёмкости от концентрации полиэтиленполиамина и формальдегида. Установлено, что при использовании образцов с высокой концентрацией полиэтиленполиамина и формальдегида значение статической обменной ёмкости (СОЕ) было высоким. Основной причиной этого, предположительно, является низкое содержание воды в системе, что способствует высокой

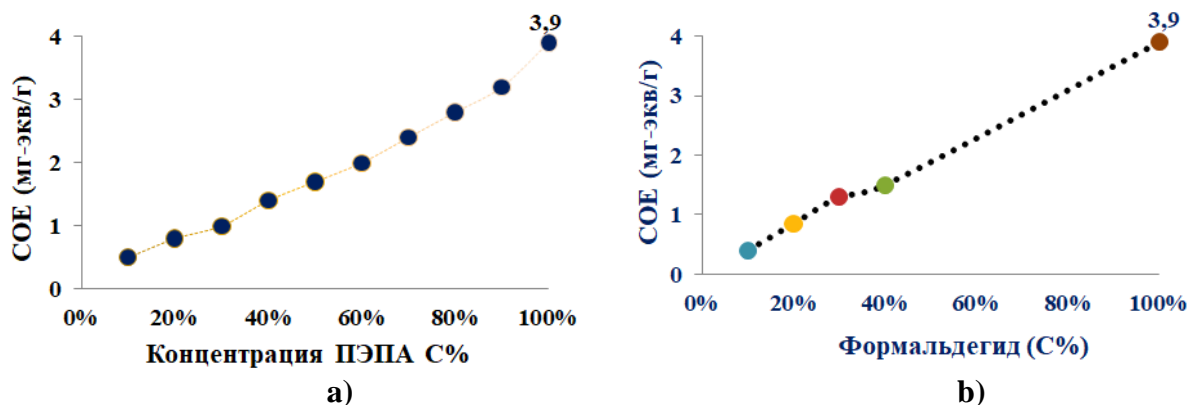


Рисунок 2. Зависимость значения статической обменной ёмкости (СОЕ) анионита ВМТ-ПФА от концентрации полиэтиленполиамина (а) и формальдегида (б) при температуре 413 К.

эффективности сшивки (рис. 2).

В результате сшивки вермикулита Кораозак с полиэтиленполиамином и формальдегидом получен новый ионит. Приведены результаты и описания сначала была изучена зависимость статической обменной ёмкости были исследованы процессы сшивки вермикулита с полиэтиленполиамин-формальдегидом и с формальдегидом при различных температурах.

С повышением температуры среды в процессе сшивки значение СОЕ полученного анионита увеличивалось до 413 К, дальнейшее повышение температуры приводило к снижению статической обменной ёмкости, что можно объяснить термической деструкцией. На основе проведенных научных исследований оптимальная температура сшивки вермикулита из месторождения Кораозак с полиэтиленполиамином (ПЭПА) была определена как 413 К.

Таблица 1. Изменение значений СОЕ при различных температурах в процессе сшивания слоев чернокорневого вермикулита с полиэтиленполиамином в присутствии формальдегида

Температура (К)	333	353	373	393	413	433	473
°С	60	80	100	120	140	160	200
СОЕ, (мг-экв/г)	1,1	1,7	2,2	2,6	3,9	3,6	3,2

Процессы сшивки вермикулита с участием полиэтиленполиамина (ПЭПА) и формальдегида были изучены при различных соотношениях компонентов. Массовые и объемные соотношения вермикулита и ПЭПА составляли соответственно 4:1, 4:2, 4:4, 4:6, 4:8, 4:10, 4:12 и 4:15. Реакции

проводились при температуре реакционной среды 333, 353, 373, 393, 413, 433 и 473 К в течение 30 минут, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 часов. Факторы, влияющие на процесс сшивки вермикулита с полиэтиленполиамин-формальдегидом, были изучены на основе значения статической обменной емкости (СОЕ) ионита по HCl.

Из данных на рисунке 3а видно, что по мере увеличения массового соотношения полиэтиленполиами́на к вермикулиту статическая обменная емкость полученного ионита по соляной кислоте увеличивалась до массового соотношения 4:10, а затем оставалась практически неизменной. Это связано с тем, что при низком содержании полиэтиленполиами́на эффективность сшивки выше.

Результаты проведенного научного исследования (рис.3б) показали, что при увеличении продолжительности сшивки гранулированного вермикулита в присутствии полиэтиленполиамин-формальдегида до 10 часов значение СОЕ полученного ионообменного материала увеличивалось, при проведении 12 и 14 часов изменений практически не наблюдалось.

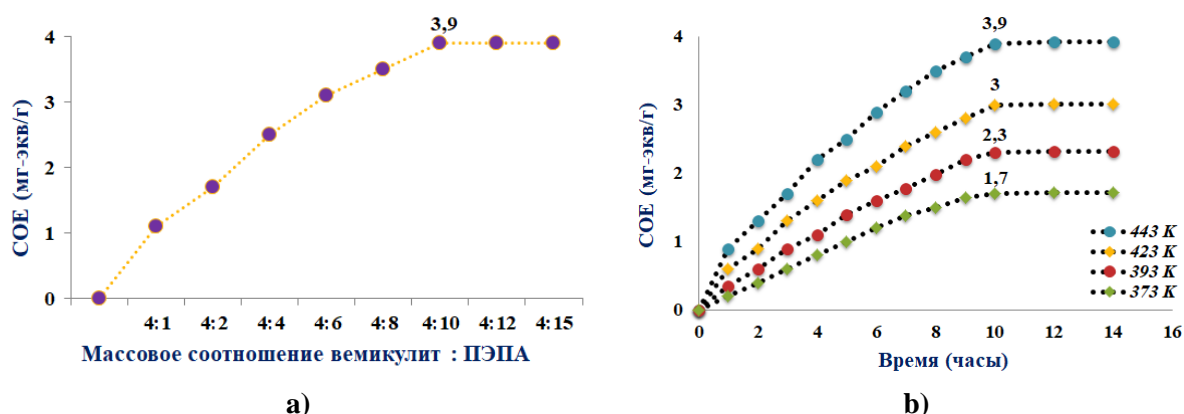


Рисунок 3. Зависимость значения статической обменной ёмкости (СОЕ) анионита ВМТ-ПФА от массового соотношения вермикулита, полиэтиленполиами́на и формальдегида (а), а также от времени сшивки (б) при температуре 413 К.

Из этого можно сделать вывод, что оптимальное время сшивки вермикулита полиэтиленполиамин-формальдегидом составил 10 часов.

С целью идентификации и определения существующих функциональных групп в ионообменном материале, полученном сшивкой вермикулита Кораузак с полиэтиленполиамин-формальдегидом был проведен спектроскопический анализ FT-IR результаты которого показаны на рисунке 4 ниже.

Как показано на рисунке 4, в ИК-спектре композита вермикулит – полиэтиленполиамин полосы поглощения в области $3421,69 \text{ см}^{-1}$ соответствуют группе -ОН, означающий о содержании определенного количества воды, полоса поглощения при $2937,99 \text{ см}^{-1}$ соответствует несимметричной и асимметричной группе $-\text{CH}_2$ – означающий о введении органической группы между слоями вермикулита и получении органического вермикулита. Область $3013,37 \text{ см}^{-1}$ указывает наличие амино- ($-\text{NH}_2$) групп, а

также указывает на наличие иминогрупп (-NH). Соответственно, полосы поглощения при $2053,90\text{ см}^{-1}$, $1657,43\text{ см}^{-1}$ и в диапазоне $1440\text{--}1276,45\text{ см}^{-1}$ соответствуют группам C-C, C=O и C-N.

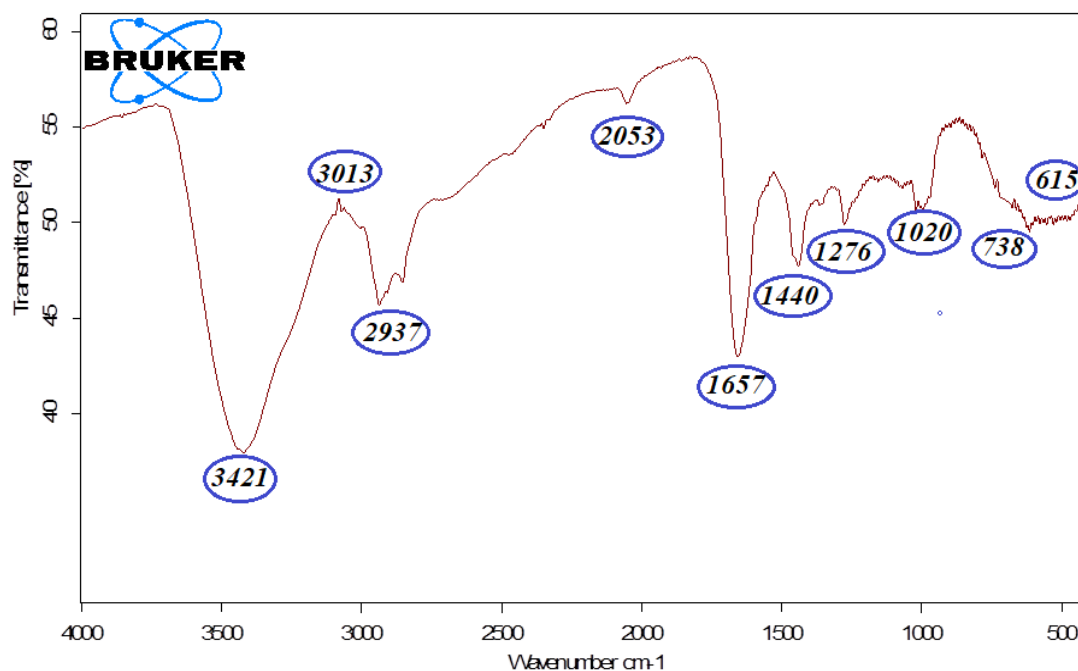


Рисунок 4. FT-IR спектры материалов: вермикулит Кораузак, вспученный вермикулит и анионит ВМТ-ПФА

Полоса поглощения, относящийся к группе C=O, проявляется с высокой интенсивностью при $1658,31\text{ см}^{-1}$. $996.17\text{--}1069.05\text{ см}^{-1}$ пик поглощения свидетельствует о наличии группы Si-O, полоса поглощения при 738.36 см^{-1} о наличии Al-O группы, полоса поглощения при $439\text{--}615.06\text{ см}^{-1}$ о наличии группы Fe-O, благодаря наличию этих групп можно сделать вывод, что вермикулит относится к алюмосиликатам. По результатам анализа ИК – спектра можно сказать, что между слоями вермикулита образовался сшитый композит из органических соединений.

На рисунке 5 показаны изображения сканирующего электронного микроскопа вермикулита до сшивки (а) и после (б) сшивки. До сшивки поверхность полимерного материала выглядела гладкой, а после процесса сшивки можно увидеть, что его поверхность приобрела неровный пористый вид. Из литературы нам известно, что с увеличением степени пористости и поверхностного натяжения в твердых телах также увеличиваются сорбционные свойства материала.

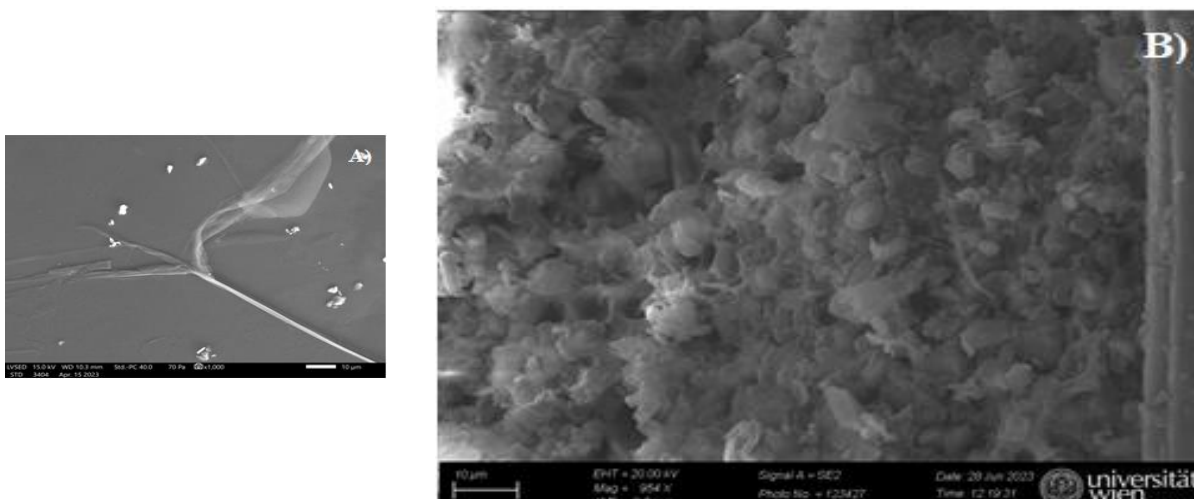


Рисунок 5. СЭМ микрофотография ионита, полученного на основе вермикулита (а) – вспученного вермикулита, (б) - вермикулита и полиэтиленполиаминового композита

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Физико-химические свойства ионитов, полученных сшивкой полиэтиленполиамина в присутствии формальдегида в слоях вермикулита Кораозак», рассматриваются поверхностные свойства, степень пористости, термическая и химическая стабильность ионитов, получаемых сшивкой полиэтиленполиамина в присутствии формальдегида, исследованы физико-химические закономерности сорбции на иониты различных ионов металлов.

Таблица 2

Размеры пористости и удельная поверхность вермикулита и композиционного материала, полученного на основе сшивки вермикулита с ПЭПА и формальдегидом

№	Размеры пористости и удельная поверхность	Вспученный вермикулит		Анионит ВМТ-ПФА	
		Å	nm	Å	nm
1.	Макропора (W_{mac})	-	-	-	-
2.	Микропора (W_{mic})	18,97	1,897	1,845	1,3845
3.	Мезопора (W_{mes})	164,5	16,45	1,64	9,164
4.	Удельная поверхность (S_{sol}) m^2/g	38,086		67,92	

В таблице 2 представлена информация о размерах пористости и удельной поверхности вермикулита и композитного материала, полученного путем сшивки вермикулита с ПЭПА и формальдегидом, согласно этой таблице микропористые и мезопористые размеры композиционного материала, по сравнению с исходным расширенным вермикулитом, были уменьшены из-за включения органического вещества в вермикулит, а это способствует повышению удельной поверхности (почти в 2 раза) и сорбционных свойств.

Термическая стабильность вермикулита Кораозак, а также ионитов, полученных на его основе, изучали с помощью термоаналитического прибора “ДЕРИВАТОГРАФ” венгерской фирмы “МОМ” при температуре до 800 °С.

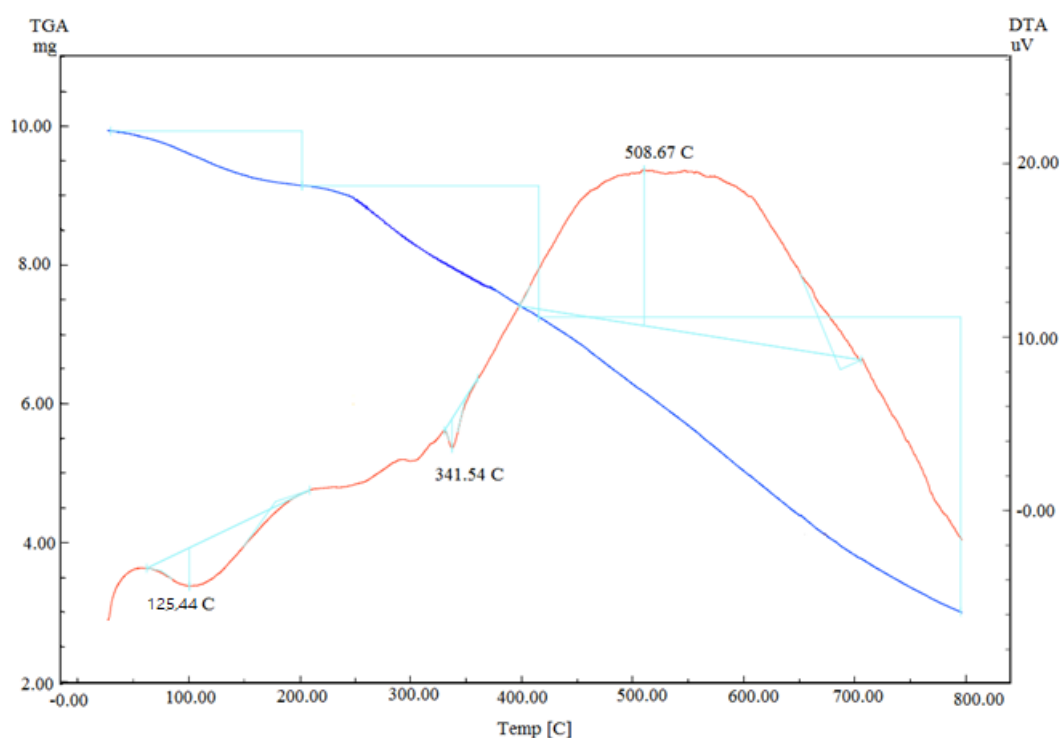


Рисунок 6. Дериватограмма вермикулита Кораозак (А), вспученного вермикулита (В) и анионита ВМТ-ПФА (С)

С целью определения термической стабильности вермикулита Кораозак, а также анионитов, полученных на его основе, получили дериватограмму с помощью термоаналитического прибора “ДЕРИВАТОГРАФ” венгерской фирмы “МОМ” при температуре до 800 °С.

На основе данных термогравиметрии (ТГ) и дифференциального теплового анализа (ДТА) согласно рисунку 6 установлено, что вода и органические вещества в ионите, полученный путем сшивки вермикулита полиэтиленполиамином и формальдегидом, разлагаются при температуре около 100°C, термическая стабильность исходного сырья по сравнению с вермикулитом и расширенным вермикулитом обусловлена включением органических веществ в полученный ионит т. е. можно сделать вывод, что ионит термически стабилен до 125.44°C. Видно, что до 341-508°C резко уменьшилась масса сорбента, процесс деструкции шел бурно.

Для рентгено-фазового анализа был проведен рентгенографический анализ вермикулитового сырья, расширенного вермикулита и ионитов, полученных на основе вермикулита и полиэтиленполиамины.

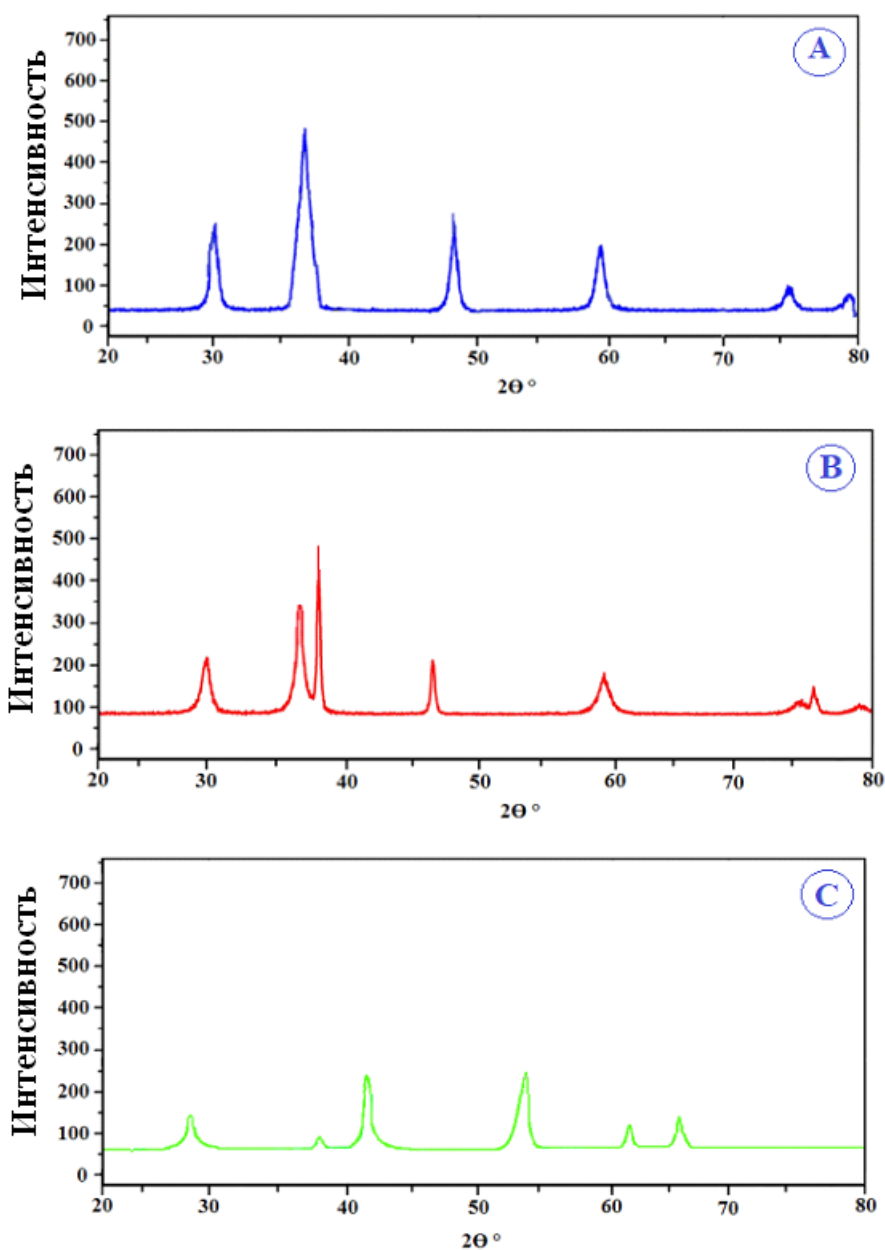


Рисунок 7. Рентгенографический анализ: (А) вермикулит Кораузак, (В) вспученный вермикулит и (С) анионит ВМТ-ПФА

На основании рисунка 7 (А, В, С) можно заключить, что в ряду образцов «вермикулит>вспученный вермикулит>анионит ВМТ-ПФА» кристалличность материала снижается, а степень аморфности увеличивается. С уменьшением пиков в областях 30°, 38° и 60° и потерей пиков в областях 40° и 45° мы можем видеть увеличение аморфности в ионите, полученном на основе вермикулита и полиэтиленполиамина, по сравнению с вермикулитом, что положительно влияет на сорбционные свойства. С другой стороны, новые пики в области 42°, 55°, 65° можно объяснить тем фактом, что на вермикулит повлияло введение полиэтиленполиамина, а также полиформальдегида.

Определение химической устойчивости синтезированных ионообменных материалов является одним из требований, предъявляемых к сорбентам в промышленном масштабе. С этой целью аниониты выдерживались в растворах

соответствующих реагентов (HNO_3 , HClO_4 , NaOH) при температуре 298 К в течение 1440 и 2880 минут. Раствором NaOH исследование проводилось при температуре 373 К и в течение 600 минут.

Таблица 3

Химическая стабильность ионитов

Среда раствора	Условия исследования		СОЕ, Мг-экв/г		$\frac{\text{СОЕ}_{\text{конч}}}{\text{СОЕ}_{\text{нач}}}$, %	Изменение массы; %
	Т, К	Время (мин)	кон.	Нач.		
Анионит VMT-PFA						
1% HNO_3	298	2880	3,2	3,9	82,05	3,43
5% HNO_3	298	2880	3	3,9	76,9	3,94
1% HClO_4	298	2880	3,4	3,9	87,2	3,97
5% HClO_4	298	2880	3	3,9	76,92	4,22
5% NaOH	373	600	3,7	3,9	94,88	1,94
АН-31 (аммиак, эпихлоргидрин и ПЭИ)						
1% HNO_3	298	2880	1.29	2,32	51.8	1.30
5% HNO_3	298	2880	1.62	2,32	78.8	-
1% HClO_4	298	2880	0	2,32	0	17.2
5% HClO_4	298	2880	0	2,32	0	17.4
5% NaOH	373	600	2.00	2,32	96.0	-
PMV-GA						
1% HNO_3	298	2880	4,18	4,4	95,05	2.82
5% HNO_3	298	2880	4,27	4,4	97,15	3.90
1% HClO_4	298	2880	4,36	4,4	99,05	2.92
5% HClO_4	298	2880	4,36	4,4	99,05	4.28
5% NaOH	373	600	4,28	4,4	97,33	2.05
ППЭ-1 (ПВХ и ПЭПА)						
1% HNO_3	298	2880	3,96	4,20	94,3	2.80
5% HNO_3	298	2880	3,62	4,20	86,6	3.75
1% HClO_4	298	2880	3,60	4,20	85,7	2.84
5% HClO_4	298	2880	3,03	4,20	72,1	4.20
5% NaOH	373	600	3.91	4,20	93,1	2.10

На основании данных таблицы 3 можно сделать вывод, что анионит VMT-PFA обладает более высокой химической устойчивостью по сравнению с анионитом АН-31, используемым в настоящее время в промышленном масштабе, и демонстрирует показатели устойчивости, близкие к аниониту РРЕ-1, полученному с участием ПВХ и ПЭПА. Кроме того, благодаря тому, что VMT-PFA анионит почти на 100 % изготовлен из местного и природного сырья, он считается экономически и экологически более предпочтительным.

В целях установления закономерностей кинетики сорбции ионов Cu (II), Co(II) и Ni(II) на ионообменный материал, полученный на основе вермикулита, был проведен анализ сорбционной кинетики по кинетическим моделям псевдопервого порядка и псевдо-второго порядка.

Таблица 4

Кинетика сорбции ионов Cu(II), Co(II) и Ni(II) на ионит, полученный на основе вермикулита

Нач. конц. ионов металлов. (г/л)		Псевдо-первого порядка			Псевдо-второго порядка		
		Кол-во равновес. адсорбции, Q_e (мг·г ⁻¹)	k_1 (мин ⁻¹)	R^2	Кол-во равнов. адсорбции, Q_e (мг·г ⁻¹)	k_2 (мин ⁻¹)	R^2
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Cu (II)	1,6	82,4	8,52115E-07	0,9183	110,95	1,61928E-05	0,9844
	3,2	86,67	8,55826E-07	0,9389	118,67	1,68038E-05	0,9939
Co (II)	5,9	83,3	9,45809E-07	0,9391	99,2	2,28228E-05	0,9657
	14,7	92,8	8,31529E-07	0,9485	107,3	3,57016E-05	0,9962
Ni (II)	0,74	42,2	9,08E-07	0,9443	59,42	1,12488E-05	0,988
	1,47	45,78	8,85E-07	0,9685	76,6	2,30785E-05	0,9969

С целью выявления закономерностей кинетики сорбции ионов Cu(II), Co(II) и Ni(II) на анионите VMT-PFA был проведен анализ кинетики сорбционного процесса с использованием моделей псевдо-первого и псевдо-второго порядка. На основании значений коэффициента корреляции установлено, что процесс соответствует модели кинетики псевдо-второго порядка (таблица 4).

Для анионита, полученного на основе вермикулита и содержащего атомы азота, проявляющего свойства слабого основания, были изучены изотермические закономерности сорбции ионов Cu(II), Co(II) и Ni(II) из модельных растворов (таблица 5).

Таблица 5

Важнейшие величины изотермических моделей процессов сорбции (293, 303, 313 К) ионов металлов Cu (II), Co (II), Ni (II) в ионит, полученный на основе вермикулита

Изотермическая модель Ленгмюра	Q_{max}	K_L	R_L
Cu(II)	135,14	0,00247	0,1124
Co(II)	119,05	0,000096	0,414
Ni(II)	94,34	0,00883	0,01893
Изотермическая модель Фрейндлиха	1/n	n	K_F
Cu(II)	0,459	2,177	2,878
Co(II)	0,3096	3,23	5,012
Ni(II)	0,265	3,78	12,9
Изотермическая модель Д-Р	B_{D-R}	E	
Cu(II)	$6,45 \cdot 10^{-3}$	9,12	
Co(II)	0,00206	9,8	
Ni(II)	95,3	9,114	
Изотермическая модель Темкина	K_T	B_T	

Cu(II)	0,914	256,1	
Co(II)	0,0123	145,6	
Ni(II)	0,143	440,23	
Изотермическая модель Флори-Хаггинса	n	K_{FH}	G_{ads}
Cu(II)	1,945	3453	-22,84
Co(II)	1,92	4055	-20,86
Ni(II)	1,82	4039	-20,78

Из современных изотермических моделей, применяемых для равновесного состояния сорбции ионов Cu(II), Co(II) и Ni(II): при изучении моделей Ленгмюра, Фрейндлих, Флори-Хаггинса, Темкина и Дубинина-Радушкевича значение коэффициента корреляции составляет соответственно R^2 (0,9231–0,9995), ($R^2=0,8057–0,9939$) R^2 (0,499–0,9995). Это значение увеличивается в ряду для Cu(II): Дубинин Радушкевич < Фрейндлих < Темкин < Флори-Хаггинс < Ленгмюр, для Co(II): Дубинин-Радушкевич < Флори-Хаггинс < Темкин < Фрейндлих < Ленгмюр и для Ni(II): Темкин < Дубинин-Радушкевич < Флори-Хаггинс < Фрейндлих < Ленгмюр.

Таблица 6

Важнейшие величины изотермических моделей процессов сорбции (293, 303, 313 К) ионов $Cr_2O_7^{2-}$ и MnO_4^- в ионит, полученный на основе вермикулита

Изотермическая модель Ленгмюра		Q_{max}	K_L	R_L	R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 К	140,85	0,004052	0,0453	0,9994
MnO_4^-	313 К	113,64	0,00883	0,1922	0,9902
Изотермическая модель Фрейндлиха		1/n	n	K_F	R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 К	0,5618	1,78	1,0486	0,9566
MnO_4^-	313 К	0,69	1,448	1,5382	0,9843
Изотермическая модель Темкина		K_T	B_T		R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 К	0,01585	115,678		0,9794
MnO_4^-	313 К	0,08678	124,3		0,9676
Изотермическая модель Д-Р		B_{D-R}	E		R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 К	0,00202	16,34		0,9736
MnO_4^-	313 К	0,001895	15,95		0,8971
Изотермическая модель F-H		n	K_{FH}	G_{ads}	R^2
$Cr_2O_7^{2-}$	313 К	2,08	4147,6	-15,4	0,9367
MnO_4^-	313 К	1,98	5590	-13,4	0,9659

Из 6-таблицы изотермических моделей равновесного состояния сорбции ионов Cr(VI) и Mn(VII), а также при изучении моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Флори-Хаггинса, Темкина и Дубинина-Радушкевича по

значению коэффициента корреляции для обоих анионов мы можем понять, что изотерма Ленгмюра соответствует этому процессу сорбции.

В той же исследовательской работе можно наблюдать снижение абсорбционных свойств анионита до 88% при шестикратном его применении для сорбции и десорбции ионов $\text{Cu}(\text{II})$ к аниониту, полученному на основе вермикулита. Для процесса регенерации использовали раствор соляной кислоты с концентрацией $0,1 \text{ моль} \cdot \text{литр}^{-1}$.

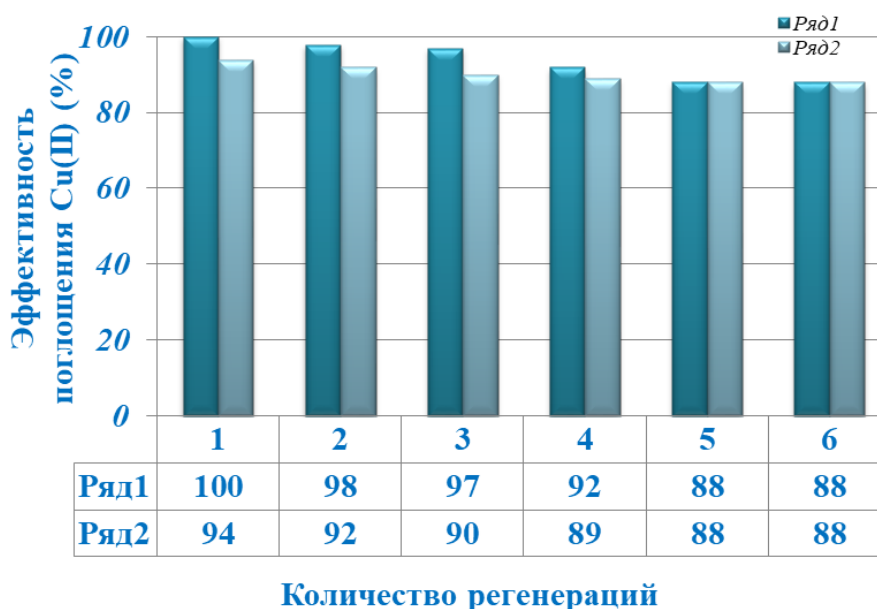


Рисунок 8. Влияние количества циклов сорбции-десорбции на способность анионита ВМТ-ПФА к поглощению ионов $\text{Cu}(\text{II})$

На основе полученных научных результатов по физико-химическим свойствам нового ионита на основе вермикулита Кораозак: методика очистки технологических растворов внедрена в практику в АО «Узбекский комбинат технологических металлов» (Справка №03/03-351 от 19 декабря 2024 года АО «Узбекский комбинат технологических металлов»). В результате была создана мини-установка для очистки сточных вод от ионов металлов $\text{Cu}(\text{II})$, что позволило снизить содержание ионов металлов $\text{Cu}(\text{II})$ в сточных водах до 1,26%.

Также в Институте общей и неорганической химии Академии Наук Республики Узбекистан в рамках государственной научно-технической программы в практическом проекте под названием ПЛ-4821091630 “Синтез и физико-химические свойства мезапорных материалов, упорядоченных на основе альтернативных источников кремния и мезагенных темплатов” применен ионит, полученный на основе синтезированного вермикулита (Обращение ФС Республики Узбекистан от 31 мая 2023 года № 4/1255-1182).

В четвертой главе диссертации, озаглавленной “Экспериментальная часть”, представлены описания применяемых реактивов, современные физико-химические методы анализа, а также опыты по получению сорбента.

ВЫВОДЫ

1. В результате исследования влияния различных внешних факторов на процесс получения нового анионита VMT-ПФА путём сшивки межслоевого полиэтиленполиамина в караузьякском вермикулите с участием формальдегида, были предложены оптимальные условия процесса синтеза сорбционного материала.

2. Идентификация состава и структуры полученных анионитов современными физико-химическими методами позволила установить, что вшитом полиэтиленполиамином вермикулите Кораозак имеются аминогруппы ($-\text{NH}_2$ и $-\text{NH}-$), обладающие ионообменными свойствами.

3. Анализ электронных микрофотографий синтезированных анионитов VMT-РФА композитных сорбционных материалов позволил подтвердить наличие у него пористой структуры, усиливающей сорбционные свойства. Исследованные физико-химические свойства анионита показали, что он соответствует требованиям, предъявляемым к ионитам используемым в промышленных масштабах для извлечения присутствующих ионов из воды.

4. Исследована кинетика поглощения анионитов VMT-РФА Cu (II), Co (II) и Ni (II) сорбционным материалом, полученного межслоевой сшивкой вермикулита Кораозак с полиэтиленполиамином в присутствии формальдегида, а также рассчитана энергия активации процесса сорбции, согласно которой по модели изотермы Д-Р энергия активации поглощения ионов Cu (II), Co (II), Ni (II) в ионит составила 9,12, 9,8 и 9,114 кДж/моль соответственно, также была изучена изотерма процессов сорбции ионов Cu (II), Co (II), Ni (II), на синтезированный ионит, что позволило подтвердить протекание сорбции ионов металлов в результате ионообменной реакции.

5. Путем исследования кинетики и изотермы сорбции анионитов VMT-РФА Cr (VI) из искусственных растворов на полученный сорбционный материал, выявлено, что кинетика процесса поглощения ионов Cr (VI) на ионит лучше описывается уравнением кинетической модели модели псевдвторого порядка. При этом для описания изотермы процесса сорбции ионов Cr (VI) и Mn (VII), более подходящей является уравнение Ленгмюра для мономолекулярной адсорбции.

6. Новый ионит, получаемый межслоевой сшивкой вермикулита Кораозак полиэтиленполиамином в присутствии формальдегида, использовали шестикратно для процессов сорбции и десорбции при очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов Cu(II), и было отмечено снижение его сорбционных свойств всего на 12%, что позволило многократно применять этот ионит при очистке сточных вод промышленных предприятий.

7. Для оценки эффективности анионита VMT-РФА полученный материал был использован в качестве сорбента по отношению к ионам Cu(II) в составе промышленных сточных вод Акционерного общества «Узбекский комбинат технологических металлов». Было установлено, что анионит эффективно извлекает ионы Cu(II), при этом их содержание в очищенной воде составило всего 1,26 %, что свидетельствует о 10-кратном снижении концентрации.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES
DSC.03/30.09.2020.K.82.02 AT THE CHIRCHIK STATE PEDAGOGICAL
UNIVERSITY**

CHIRCHIK STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

TURSUNMURATOV OBID XAMZAYEVICH

**PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF IONITE OBTAINED ON THE
BASIS OF VERMICULITE**

02.00.06 - High molecular compounds

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

Chirchik – 2025

The topic of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2021.3.PhD/K420.

The dissertation was completed at the Chirchik State Pedagogical University.

The abstract of the dissertation is available in three languages (Uzbek, Russian and English (summary)) website of the Academic Council (www.cspi.uz, cspi.uz.ilmiy) and on the information and educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Bekchanov Davronbek Jumazarovich**
doctor of chemical sciences, professor

Official opponents: **Karimov Makhmud Muratovich**
doctor of chemical sciences, professor

Turobov Khamza Tursunovich
doctor of chemical sciences, professor


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


The defense of the dissertation will take place on « 30 » 04 2025 «16⁰⁰» at the meeting of Scientific Council DSc.03/30.09.2020.K.82.02 at the Chirchik State Pedagogical University (Address: 111720, Tashkent region, Chirchik city, Amir Temur street, 104. Phone: (0370) 716-68-05, Fax (0370) 716-68-11; e-mail: tvchdpi_k.kengash@umail.uz).


The dissertation is available at the Information Resource Center of Chirchik State Pedagogical University (registered under number 365). (Address: 111720, Tashkent region, Chirchik city, Amir Temur Street, 104. Phone: (0370) 716-68-05, Fax: (0370) 716-68-11; e-mail: tvchdpi_k.kengash@umail.uz).


The abstract of the dissertation has been distributed on « 17 » 04 2025

Protocol at the register № 23 dated « 17 » 04 2025 year


O.E. Ziyadullaev
Chairman of the Scientific Council for
awarding of the scientific degrees,
Doctor of Chemical Sciences,
Professor.


G.K. Otamukhamedova
Scientific Secretary of the Scientific
Council for awarding the scientific
degrees, Doctor of Chemical Sciences


A.S. Rafikov
Chairman of the Scientific Seminar
under the Scientific Council for
awarding the scientific degrees,
Doctor of Chemical Sciences,
Professor.



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

The aim of the investigation: obtaining an ionite by crosslinking layers of vermiculite with the participation of polyethylene polyamine and formaldehyde, as well as studying its physical and chemical properties and sorption capacity.

Objects of investigation: includes vermiculite, polyethylenepolyamine, formaldehyde, ion-exchange materials, and heavy metal salts.

The scientific novelty of the research is as follows:

the physicochemical properties of anionite obtained by crosslinking amino groups on Chernoozek vermiculite using polyethylenepolyamine in the presence of formaldehyde were studied for the first time. Optimum conditions for obtaining a new anionite (VMT-PFA) containing both inorganic and organic matrices based on three-dimensional vermiculite-polyethylenepolyamine and formaldehyde were determined;

a study of the physical and chemical properties of the new composite showed that it has a high specific surface area, porosity and sorption properties. In addition, it has been proven that its thermal and chemical stability exceeds that of industrial anionites used in practice;

a mathematical and statistical analysis of the kinetic and thermodynamic parameters of the sorption of Cu (II), Co (II), Ni (II), Cr (VI) and Mn (VII) ions on the new VMT-PFA anion exchanger from solutions was carried out. It was established that the process occurs in accordance with the laws of chemical sorption;

when studying cyclic processes of sorption-desorption of Cu(II) ions from industrial wastewater, it was found that the sorption properties of the new anionite decreased by only 12%, which confirms the possibility of its repeated use for the treatment of industrial wastewater.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the physicochemical properties of ion-exchange materials synthesized by crosslinking local Qorao‘zak vermiculite layers with polyethylene polyamine and formaldehyde:

the synthesized VMT-PFA anion exchanger was put into practice as a sorbent for the selective extraction of copper ions Cu (II) from wastewater of JSC “Uzbek Technological Metals Plant” (according to certificate No. 03/03-351 dated December 19, 2024). As a result of using this anion exchanger, it was possible to reduce the content of Cu (II) ions in the enterprise’s wastewater to 1.26%;

an anion exchange resin based on Cherousak vermiculite was also used as a sorbent within the framework of the applied project with registration number IL-4821091630 - “Synthesis of ordered mesoporous materials and study of their physicochemical properties based on alternative sources of silicon and mesogenic templates” (according to certificate No. 4/1255-1182 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan dated May 31, 2023). During the research it was established that with the help of VMT-PFA anionite, it is possible to reduce the

concentration of Cu^{2+} , Ni^{2+} and $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ions in aqueous solutions, which confirms its high sorption capacity and efficiency in wastewater treatment processes.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 116 pages.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Tursunmuratov O.X., Qutlimuratov N.M. Vermikulit asosida olingan ionitning fizik-kimyoviy xossalari. // Samarqand davlat universiteti ilmiy axborotnoma. 2020. № 5, 18-21 b (02.00.00. № 9).

2. Tursunmuratov O.X., Qutlimuratov N.M., Bekchanov D.J., Mukhamediyev M.G. Vermikulit asosida olingan ionitning fizik-kimyoviy xossalari. // Farg'ona davlat universiteti ilmiy xabarlar. 2021. № 3. 213-217 b (02.00.00. № 17).

3. Tursunmuratov O.X., Jurayev M.M., Bekchanov D.J., Mukhamediyev M.G. Kinetics and isotherm of Ni²⁺ ion sorption on a new sorbent obtained on the basis of vermiculite. // Universum: технические науки, 2022. Issue: 12 (105). pp. 44-48 (02.00.00. № 2).

4. Tursunmuratov O.X., Xurramova F.T., Bekchanov D.J. Vermikulit asosida olingan yangi ionitga Cu²⁺ ionlarining sorbsiya kinetikasi va izotermasi. // Farg'ona davlat universiteti. Farg'ona davlat universiteti ilmiy xabarlar. 2022. № 3153-157 b (02.00.00. № 17).

5. Tursunmuratov O.X., Bekchanov D.J. Vermikulit asosida olingan yangi ionitga Ni²⁺ ionlarining sorbsiya kinetikasi va izotermasi. // Farg'ona davlat universiteti ilmiy xabarlar. 2022. № 3151-154 b (02.00.00. № 17).

6. Турсунмуратов О.Х., Бекчанов Д.Ж. Кинетика псевдопервого и второго порядка абсорбции катиона меди (II) на ионите на основе вермикулита. // Universum технические науки, 2023. № 8 (113). С. 42-45 (02.00.00. № 2).

7. Obid Tursunmuratov, Suyun Khushvaktov, Murod Jurayev, Davronbek Bekchanov, and Mukhtarjan Mukhamediev, Adsorption and Kinetic Studies of Nickel(II) Ions onto Vermiculite based Ionite. // Asian Journal of Chemistry, 2024, 36, No. 1, pp 120-124, <https://doi.org/10.14233/ajchem.2024.30682> (Scopus).

II bo'lim (II часть; II part)

1. Karimjonov M., Eshniyozova N.N., Tursunmuratov O.X. Vermikulit asosida olingan ionitning fizik-kimyoviy xossalari. // "O'zbekistonda kimyo fanining rivojlanishi va istiqbollari" mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Toshkent, 2020. 11-12 b.

2. Tursunmuratov O.X., Qutlimuratov N.M., Jo'rayev M.M., Bekchanov D.J. Vermikulit asosida olingan ionitning statik almashinish sig'imi qiymatiga (SAS) harorat, vaqt va konsentratsiyaning ta'siri. // "Kompleks birikmalar kimyosining dolzarb muammolari" mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami. Toshkent, 2021. 241-243 b.

3. Tursunmuratov O.X., Xurramova F.T., Bekchanov D.J., Jo'rayev M.M. Vermikulit asosida olingan ionitga Cu²⁺ ionlarining sorbsiya izotermasi. // II International scientific and scientific-technical conference. Problems and prospects of Innovative technique and technology in agri-food chain. Tashkent, 2022. 163-165 b.

4. Qutlimuratov N.M., Tursunmuratov O.X., Xushvaqtov S.Y., Bekchanov D.J., Muxamediyev M.G. Vermikulit asosida olingan ionitga Cu²⁺ ionlarining sorbsiya kinetikasi. // Proceedings of the international conference "Innovative approaches to

the development of educationproduction Cluster in the oil and gas field”. Tashkent, 2022. 153 b.

5. Tursunmuratov O.X., Bekchanov D.J. Vermikulit asosida olingan ionitga Ni^{2+} ionlarining sorbsiya kinetikasi va izotermasi. // “Koordinatsion birikmalar kimyosining hozirgi zamon muammolari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallar to‘plami. Buxoro, 2022. 511-513 b.

6. Tursunmuratov O.X., Bekchanov D.J. Kinetics and isotherm of Cu^{2+} ion sorption on a new sorbent obtained on the basis of vermiculite. // “Koordinatsion birikmalar kimyosining hozirgi zamon muammolari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallar to‘plami. Buxoro, 2022. 513-515 b.

7. Tursunmuratov O.X., Qutlimuratov N.M., Chorshanbiyev.Sh.J. Vermikulit asosida olingan yangi ionitga og‘ir metall ionitlarining sorbsiyasi. // “Kimyoning rivojida fundamental, amaliy tadqiqotlar va ularning istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. Toshkent, 2022. 339-340 b.

8. Tursunmuratov O.X., Xurramova F.T. Vermikulit asosida olingan ionitga nikel (II) ionlari sorbsiyasining psevdobirinchi va psevdodikinchi tartibli kinetik modellari. // “Funksional polimerlarning fundamental va amaliy jihatlari” nomli xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallar to‘plami. Toshkent, 2023. 195-202 b.

9. Tursunmuratov O.X., Bekchanov D.J. Vermikulit asosida olingan ionitga mis (II) kationlarining yutilish kinetikasining tahlili. // “Fan va ta‘lim integratsiyalashuvida barqaror rivojlanish maqsadlari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Toshkent, 2023. 125-131 b.

10. Tursunmuratov O.X., Axadov B.A. Vermikulit asosida sintez qilingan ionitlarga neft va gaz tarkibidagi $Cu(II)$ kationlari yutilishi tahlili. // “Mahalliyashtirishda innovatsion yondashuvlar” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Qarshi, 2023. 287-289 b.

11. Tursunmuratov O.X., Tursunxo‘jayev M.N., Axadov B.A. Vermikulit asosida olingan ionitga $Cr(VI)$ ionlari yutilish tahlili. // “Kimyo fani va sanoatining dolzarb muammolari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Farg‘ona, 2023. 136-138 b.

12. Tursunmuratov O.X., Tursunxo‘jayev M.N. Tabiiy adsorbent tuproq minerallari tasnifi va turlari. // “Termoreaktiv oligomerlar, polimerlar saqlovchi chiqindilar, polifunksional birikmalar va ular asosida polimer materiallar yaratishning istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya. Toshkent, 2024. 228-231 b.

13. Tursunmuratov O.X., Tursunxo‘jayev M.N., Ergasheva M.A. Tabiiy noorganik mineral vermikulitning xossalari va klasifikatsiyasi // “Fizikaviy va kolloid kimyo fanlarining fundamental va amaliy muammolari hamda ularning innovatsion yechimlari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Namangan, 2024. 1026-1028 b.

Avtoreferat «O'zMU xabarlari» jurnalida tahrirdan o'tkazildi.



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 15.04.2025.

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

Shartli bosma tabog'i 2,9. Adadi 100. Buyurtma: № 73

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.