

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
TERMIZ DAVLAT MUHANDISLIK VA AGROTEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI
“ATROF-MUHIT MUHANDISLIGI VA HAYOT FAOLIYATI
XAVFSIZLIGI ”KAFEDRASI
MAGISTRATURA BO‘LIMI

Qo‘lyozma huquqida

UDK_678.742.2.

Chaqanov Asadbek Hasan o‘g‘lining

Atrof muhitga antropogen ta’sirni kamaytirish uchun oqova suvlarni
og‘ir metallardan tozalash usulini o‘rganish

70520201–Atrof-muhit muhofazasi

Magistr

akademik darajasini olish uchun

DISSERTATSIYA

Ilmiy rahbar:
t.f.f.d.,PhD dots.G‘afforova Sh.

. Termiz 2026-yil

Dissertatsiya Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
«Atrof-muhit muhandisligi va hayot faoliyati xafsizligi» kafedrasida
bajarilgan.

Ilmiy rahbar:	_____	_____
	imzo	Ilmiy darajasi va unvoni, familyasi,ismi, ota ismi
Rasmiy opponent:	_____	_____
	imzo	Ilmiy darajasi va unvoni, familyasi,ismi, ota ismi
Kafedra mudiri:	_____	_____
	imzo	Ilmiy darajasi va unvoni, familyasi,ismi, ota ismi
Magistra bo‘limi boshlig‘i:	_____	_____
	imzo	Ilmiy darajasi va unvoni, familyasi,ismi, ota ismi
Magistrant:	_____	_____
	imzo	Ilmiy darajasi va unvoni, familyasi,ismi, ota ismi

MUNDARIJA

KIRISH.....	5
I BOB. ZAMONAVIY SORBENTLARNING XOSSALARI, OLISH USULLARI VA SANOAT HAMDA EKOLOGIK SOHALARDA QO‘LLANISHI.....	8
1.1-§. Sorbentlarning suv, tuproq va atmosfera muhitini tozalashdagi roli va ularning ekologik samaradorligini oshirish istiqbollari.....	8
1.2-§. Tarkibida kremniy tutgan organogibrid sorbentlarni sintezi va qo‘llanilishi.....	24
1.3-§.Tarkibida azot, oltingugurt va kremniy tutgan sorbentlarni sintezi va suv tozalashda qo‘llanilishi	27
1.4-§.Organik va noorganik sorbentlarni olinishi va qo‘llanish sohalari.....	35
I bob bo‘yicha xulosalar.....	40
II BOB. TERMIZ SHAHRIDA OQOVA SUVLARNI SORBSIYALASH USULI BILAN TOZALASHNI O‘RGANISH VA TAHLIL QILISH USULLARI.....	41
2.1-§.Tadqiqot ob‘yektlari va ularning fizik-kimyoviy xossalari.....	41
2.2-§.Sintez qilingan moddalarning tuzilishi aniqlashning tadqiqot usullari.....	Ошибка! Залка не определена.
2.3-§. Termiz shahrining sanoat komunal suvlarini og‘ir metallar va og‘ir ifloslantiruvchi moddalardan sorbsiya usuli bilan tozalash.....	45
2.4§.Termiz shahrida oqova suvlani tozalashning ananaviy usullari.....	50
II bob bo‘yicha xulosalar.....	56
III BOB. ANTROPOGEN TA’SIR NATIJASIDA HOSIL BO‘LGAN TERMIZ OQOVA SUVINING FIZIK KIMYOVIY TARKIBI VA TAHLILI.....	57
3.1-§. Metasilikat natriy bilan karbamid asosida olingan organogibrid sorbent sintezi hamda uning sorbsion xossalari.....	57

3.2-§. Vaqtning natriy metasilikat bilan karbamid asosidagi organogibrid sorbentini sorbsiya jarayoniga bog‘liqligini o‘rganish.....	65
3.3-§. Sintez qilingan organogibrid sorbentining kumush ionini sorbsiyasi tahlili.....	68
3.4-§. Tiomochevina va metasilikat natriy asosida kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbenti sintezi va uning tahlili.....	72
III bob bo‘yicha xulosa.....	78
XULOSA VA TAKLIFLAR.....	79
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI.....	80
ILOVALAR.....	89

KIRISH.

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati: Ma'lumki ayni paytda sanoatlashtirish jarayonlarining jadallashuvi natijasida atrof muhitga antropogen ta'sirlar sezilarli darajada ortib bormoqda. Ayniqsa, sanoat korxonalari, kon metallurgiya majmualari, kimyo neftni qayta ishlash zavodlari, qishloq xo'jaligi faoliyati natijasida hosil bo'layotgan oqova suvlar tarkibida og'ir metall hamda qimmatbaho metall ionlarining yuqori konsentratsiyada uchrashi ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan jiddiy muammo hisoblanadi. Hozirgi kunda oqova suvlarni og'ir hamda qimmatbaho metall ionlaridan tozalash uchun kimyoviy cho'ktirish, ion almashinish, membranali filtratsiya kabi turli usullar qo'llanilmoqda.

Jahonda tarkibida azot, kislorod, kremniy tutgan sorbentlar sintezi va ular yordamida murakkab eritmalaridagi metallarning sorbsiyasiga yo'naltirilgan tadqiqotlar ko'lami kengayib bormoqda. Bu borada kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbentlar sintezi, tarkibi, tuzilishi, va ularning fizik kimyoviy xossalari, sorbsion sig'imi, sorbsiya- desorbsiya jarayonlariga turli omillarning ta'sirini o'rganish, ular yordamida gidrometallurgiya sanoatida rangli va qimmatbaho metall ionlarini ajratish, oqova suvlarni tozalash, shuningdek sorbentlarning turli haroratlardagi muhitlarda sorbsion qobiliyatini aniqlashga alohida e'tibor berilmoqda.

Tadqiqot maqsadi: Atrof muhitga antropogen ta'sirni kamaytirish maqsadida Termiz shahrida hosil bo'ladigan maishiy chiqindi oqova suvlarini tozalash hamda eritmalar tarkibidagi metall ionlarini sorbsiya qilish usulida ajratib olishni o'rganish.

Tadqiqot vazifalari:

- Termiz shahrida shahrida geografik iqlim sharoiti va suv resurslarini o'rganish;

-Tarkibida azot, oltingugurt, kremniy tutgan kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbentlarning yangi turlarini mahalliy xomashyolardan jumladan: metasilikat natriy, karbamid, tiokarbamid asosida sintez qilish va sintez jarayonlarining maqbul sharoitini aniqlash;

-ushbu olingan organogibrid sorbentlarning sorbsion hossalari o'rganish hamda ma'lum turdagi eritmalarga sinab ko'rish;

-Termiz shahrida oqova suvlarni sorbsiyalash usuli bilan tozlashni o'rganish va tahlil qilish;

Tadqiqotning usullari: Tadqiqotlar natijasida olingan materiallarning tuzilishi va xossalarini o'rganishda zamonaviy fizik kimyoviy usullardan jumladan: termogravimetriya(TG), differensial termik tahlil (DTA), infraqizil spektroskopiya (IQ) skanerlovchi elektron mikrokopiya (SEM), hamda Termiz shahridan oqib chiquvchi maishiy chiqindi oqova suvlarning 12 ta manbasidan olingan namunalarni analiz qilishda qo'llanilgan fizik -kimyoviy tahlil ma'lumotlaridan foydalanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

-Tiokarbamid, karbamid va metasilikat natriy asosida tarkibida azot oltingugurt, kremniy tutgan organogibrid sorbent sintez qilindi.

-sintez qilingan organogibrid sorbentning kislotali, neytral va ishqoriy muhitlarda Cu(II), Ni (II), Ag(I) ionlariga nisbatan sorbsion sig'implari aniqlandi.

-sintez qilib olingan sorbentlar Termiz shahrining sanoat chiqindi va kommunal oqova suvlarini og'ir metallar va organik ifloslantiruvchi moddalar dan sorbsiya qilish usuli yordamida moddalarni ajratib olish usuli o'rganildi.

Tadqiqotda qo'llanilgan metodikaning tavsifi. Olingan tadqiqotlar natijasida materiallarning tuzilishi va xossalarini o'rganishda skanerlovchi elektron mikroskopiya, infraqizil spektroskopiya, termogravimetriya usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqot natijalarining nazariy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati karbamid, tiokarbamid, metasilikat natriy asosida tarkibida azot va oltingugurt va kremniy tutgan organogibrid sorbentlarni sintez

qilish usullari va sorbent olishning optimal sharoitlarini taklif qilish hamda sintez qilingan organogibrid sorbentlarning sorbsion faolligini oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarning amaliy ahamiyat, sorbsion qobiliyati yuqori bo'lgan sintez qilingan organogibrid sorbentlar Termiz shahridagi sanoatning turli sohalaridagi chiqindi, aylanma ,oqova suvlarni og'ir va boshqa metall ionlaridan tozalashda foydalanish uchun xizmat qiladi.

I BOB. ZAMONAVIY SORBENTLARNING XOSSALARI, OLISH USULLARI VA SANOAT HAMDA EKOLOGIK SOHALARDA QO‘LLANISHI

1.1-§. Sorbentlarning suv, tuproq va atmosfera muhitini tozalashdagi roli va ularning ekologik samaradorligini oshirish istiqbollari.

Sorbent materiallar suv, tuproq va atmosfera muhitini antropogen ifloslantiruvchilardan tozalashda yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan fizik-kimyoviy tozalash vositalaridan biri hisoblanadi. Ularning asosiy afzalligi rivojlangan solishtirma sirt maydoni, yuqori porozlik darajasi hamda faol funksional guruhlarining mavjudligi bilan belgilanadi. Mazkur funksional markazlar og‘ir metall ionlari, organik toksikantlar, pestitsidlar, neft mahsulotlari va gazsimon ifloslantiruvchilar bilan ion almashinish, kompleks hosil qilish, vodorod bog‘lanishi o‘zaro ta’sirlari orqali bog‘lanadi. Natijada sorbsiya jarayoni yuqori selektivlik va sig‘im ko‘rsatkichlari bilan amalga oshadi.

Texnologiya va xavfsizlik chora tadbirlardagi yutuqlarga qaramay, xom neft va neft mahsulotlarining dengiz va chuchuk suv muhitiga tasodifiy chiqishi jiddiy ekologik muammo bo‘lib qolmoqda. Kelajakdagi muammolarning suv ekotizmlari va inson salomatligiga ta’sirini kamaytirish uchun ko‘plab tadqiqotlar suvdan neftni olib tashlashning yangi yondashuvlarini ishlab chiqishga qaratilgan. Sellyuloza asosidagi sorbent materiallar suv muhitidan neft va neft mahsulotlarini ajratib olishda arzon, ekologik xavfsiz va biodegradatsiyalanuvchi alternativa sifatida tobora katta qiziqish uyg‘otmoqda. Mazkur yondashuv zaharli moddalardan foydalanmasdan, tabiiy polisaxarid matritsasi asosida neft to‘kilishlarini bartaraf etish imkoniyatini yaratadi. Shu nuqtai nazardan, ushbu tahlilda hozirgi vaqtgacha ishlab chiqilgan sellyuloza asosidagi materiallarning neft sorbenti sifatidagi samaradorligi hamda ularni neft to‘kilishlariga qarshi kurashishda tijorat mahsulotiga aylantirish istiqbollari ko‘rib chiqiladi.

Tadqiqot natijalari sellyuloza nanokristallari (CNC) va sellyuloza nanofibrillari (CNF) yuqori sorbsion sig'im, katta solishtirma sirt maydoni va rivojlangan g'ovakli tuzilishga ega bo'lgani sababli neft to'kilishlarini tozalashda istiqbolli materiallar ekanligini ko'rsatadi. Ularning gidrofobik va oleofil xususiyatlari (yog'ga selektiv moyillik) suv muhitida neft fazasini samarali adsorbsiya qilish imkonini beradi. Shu bilan birga, yuqori mexanik mustahkamlik va struktura barqarorligi ularni qayta-qayta foydalanishga moslashtiradi.

Temir oksidi nanozarrachalarini (masalan, Fe_3O_4) sellyuloza matritsasiga integratsiya qilish orqali magnit-gidrofob kompozitlar olish mumkin. Bunday funktsionallashtirilgan sorbentlar yuqori qayta tiklanish qobiliyati, foydalanish qulayligi hamda tashqi magnit maydon yordamida tez va oson ajratib olish imkoniyati bilan ajralib turadi. Shu tariqa, ular neft to'kilishi va ekologik ifloslanishga qarshi kurashishda innovatsion va samarali yechim sifatida namoyon bo'ladi.

Bundan tashqari, neftni sorbsiyalab olgandan so'ng materialni regeneratsiya qilish va qayta ishlatish imkoniyati barqaror rivojlanish tamoyillariga mos keladi. Biroq, kichik va o'rta miqyosdagi neft to'kilishlarini nazorat qilish hamda tezkor javob choralarini qo'llashda sellyuloza asosidagi sorbentlarning sanoat miqyosidagi amaliy samaradorligini to'liq baholash va asoslash bo'yicha qo'shimcha tadqiqotlar olib borish zarur [1]. Zararli organik suyuqliklarning suv resurslariga oqishi tirik organizmlarga xavfli ta'sir ko'rsatadi. Bu yerda biz s-PPG va organosilan o'zaro bog'lovchi yordamida gibridd sorbentlarni ishlab chiqarishni ko'rsatdik. Yakuniy mahsulot yuqori va tez assimilyatsiya qilish qobiliyati, qayta ishlanishi hamda oqova suvdan yog'ni mukammal ajratish xususiyatlarini namoyon etdi. Ular suvning tubi va yuzasidan turli xil moylarni hatto to'liqinli muhit va suvning noldan past haroratlari kabi og'ir sharoitlarda ham sig'imini o'zgartirmasdan tanlab yutadi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, olingan sorbentlar og'ir sharoitlarda ham neftni suv yuzasidan samarali ravishda olib tashlaydi va moy sorbsiyasidan oldin hamda keyin suv yuzasida sig'imini yo'qotmasdan va strukturaviy o'zgarishlarsiz suzib yuradi [2].

Atrof-muhitning buzilishi va tabiiy resurslarning qisqarishi bilan bog'liq

inqirozlar ishlab chiqarish hamda iste'mol tizimlarida har qanday qoldiq materiallar yoki kiruvchi qo'shimcha mahsulotlarning xizmat muddatini uzaytirish zaruratini kuchaytirmoqda. Ushbu mavzu bo'yicha olib borilgan ko'plab tadqiqotlar asosan temir, magniy, alyuminiy va kremniy oksidlarini o'z ichiga olgan sanoat chiqindilariga qaratilgan bo'lib, bunday komponentlar elektr stansiyalari va metallurgiya sanoati qoldiqlarida (masalan, shlak va qizil loyda), shuningdek, ko'mirning uchuvchan kulida turli konsentratsiyalarda uchraydi. Bundan tashqari, ko'mir shlaklari tarkibida ham muayyan miqdorda sanoat chiqindilari mavjud. Barqaror va keng ko'lamli sanoat ilovalari uchun mazkur konsepsiyaning maqsadga muvofiqligini chuqurroq anglash maqsadida kompleks texnik-iqtisodiy, ijtimoiy hamda ekologik baholashni amalga oshirish zarur hisoblanadi[3] Metall kationlar atmosfera va gidrosferaning asosiy ifloslantiruvchi komponentlari qatoriga kiradi. Tabiiy suv resurslarida seriy (Ce^{3+}) ionlarining to'planishi jiddiy ekologik muammolarni keltirib chiqarishi mumkin, chunki ularning yuqori konsentratsiyasi suv ekotizimlarining biogeokimyoviy muvozanatini buzadi. Yana bir dolzarb masalada metallurgiya sanoati shlak chiqindilarining yirik hajmda to'planishidir.

Rossiyaning Chelyabinsk shahri yaqinida joylashgan metallurgiya shlaklari Ce^{3+} ionlarini immobilizatsiya qilishga qodir bo'lgan kukun va donador kalsiy alyumosilikat ($CaO-MgO-SiO_2-Al_2O_3$) asosidagi kompozit sorbentlar olish uchun potensial xomashyo sifatida o'rganildi. Sorbsiya tajribalarida Ce^{3+} ionlarining yuqori konsentratsiyasiga (1000 mg/L) ega suvli eritmalar qo'llanildi. Shuningdek, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si^{4+} va Al^{3+} ionlarining migratsiya xususiyatlari ham tahlil qilindi.

24 soat davomida Ce^{3+} ionlarini olib tashlash darajasi kukun holidagi sorbent uchun 93,36 % ni, donador sorbent uchun esa 99,98 % ni tashkil etdi. Sorbent va sorbat o'rtasidagi o'zaro ta'sir Ca^{2+} hamda Mg^{2+} ionlarining sorbent matritsasidan suvli eritmaga qisman o'tishi bilan kechdi, bu ion-almashinish mexanizmining mavjudligini ko'rsatadi. Desorbsiya jarayoni distillangan suvda o'rganildi va natijalar Ce^{3+} ionlarining yuqori darajada qaytarilmas (irreversibil) sorbsiyasini tasdiqladi.

Metallurgiya shlaklarining arzonligi, ularni saqlash bilan bog'liq ekologik

muammolarni kamaytirish imkoniyati hamda yuqori sorbsiya sig'imi ushbu materialni samarali sorbent sifatida qayta ishlash va qo'llash istiqbollarini ochib beradi. Bu esa yirik tabiiy suv obyektlarini Ce^{3+} ionlaridan tozalashda iqtisodiy va ekologik jihatdan maqbul yechim bo'lishi mumkin[4.]. Ushbu adabiyotda metanning bug'li reforming jarayonida sorbsiya bilan kuchaytirilgan (SE-SMR — Sorption-Enhanced Steam Methane Reforming) CaO sorbentiga natriy dopingi ta'siri o'rganilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi sorbentning siklik barqarorligini oshirish va natijada jarayon samaradorligini yaxshilashdan iborat bo'lgan. Mazkur maqsadda cho'ktirish usuli orqali Na tutgan sorbent sintez qilingan hamda CaCO_3 ni kalsinatsiya qilish orqali sof kalsiy oksidi (CaO) olingan. Tayyorlangan sorbentlar 10% Ni/ Al_2O_3 katalizatori bilan mexanik aralashtirilib, 600 °C haroratda, $\text{CH}_4\text{:H}_2\text{O}_4$ nisbatda, 10 ta SE-SMR sikli davomida sinovdan o'tkazilgan. Umuman olganda, har ikkala material ham CH_4 ning 100 % konversiyasini hamda H_2 ning 93,5 mol % ulushini ta'minlagan.

Biroq siklik barqarorlik nuqtai nazaridan natriy qo'shilishi dopingsiz materialga nisbatan sorbentning to'yinguncha ishlash vaqtini qisqartirishi aniqlangan. XRD (rentgen difraksiyasi), SEM (skanerlovchi elektron mikroskopiya) va TGA (termogravimetrik tahlil) natijalari zarracha diametri bilan CO_2 ni yutish samaradorligi o'rtasida teskari proporsional bog'liqlik mavjudligini ko'rsatdi. $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--CaO}$ tizimi sof CaO ga nisbatan kattaroq o'rtacha kristallik o'lchamiga ega bo'lib, bu CaCO_3 qatlamlari hosil bo'lishi orqali kalsiy oksidining tezroq inaktivatsiyalanishiga va kuchli sintezlanish effektiga olib kelgan.

Shuningdek, natriyning mavjudligi bilan bir qatorda, cho'ktirish usuli va sintez sharoitlari ham CO_2 ning dastlabki tez yutilishini, biroq $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--CaO}$ sorbentining past siklik barqarorligini belgilovchi omillar sifatida namoyon bo'lgan[5]. Atrof-muhit uchun xavfli ifloslantiruvchi moddalarning samarali ajratilishi va qayta tiklanishi atrof-muhit ifloslanishining tobora ortib borayotgan muammolari tufayli ilmiy tadqiqotlarning dolzarb yo'nalishlaridan biriga aylangan. Atrof-muhit matritsalarida ko'plab yangi (emerging) ifloslantiruvchilarning mavjudligi hayvonlar, insonlar va o'simliklar salomatligi uchun, hatto iz miqdorlarda ham, jiddiy oqibatlarga olib kelishi

mumkin. Shu sababli, bunday ifloslantiruvchi moddalarni tabiiy muhitda juda past konsentratsiyalarda ham miqdoriy aniqlash alohida ahamiyat kasb etadi. Magnit qattiq fazali ekstraksiya (MQFE) an'anaviy qattiq fazali ekstraksiya usuliga nisbatan tashqi magnit maydon yordamida oson ajratilishi tufayli katta e'tiborga sazovor bo'lmoqda. Kuchli magnit domenlarga ega bo'lgan sorbentlardan foydalanish jarayonni soddalashtiradi va vaqtni tejaydi. Shu bois, MQFE oz miqdorlarda uchraydigan ifloslantiruvchi moddalarni ajratib olish va oldindan konsentrlashning eng istiqbolli usullaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda.

An'anaviy qattiq fazali ekstraksiya bilan taqqoslaganda, MQFE magnit gibrid adsorbentlar ko'rinishida turli nanomateriallar va magnit kompozitlarning noyob afzalliklarini namoyon etadi. Bunday materiallar murakkab matritsalarda samarali dispersiyalanish, yuqori sorbsiya tezligi hamda tezkor regeneratsiya imkoniyatini ta'minlaydi. Ushbu adabiyotda magnit gibrid nano-o'lchamli materiallar keng ko'lamli zaharli ifloslantiruvchi moddalarni atrof-muhit obyektlaridan ajratib olish uchun samarali MQFE sorbentlari sifatida yoritilgan. Bizning fikrimizcha, mazkur tadqiqot yo'nalishi kelgusi yillarda yangi tiklanish va tozalash texnologiyalarini ishlab chiqishga turtki beruvchi innovatsion yondashuvlarning shakllanishiga xizmat qiladi[6.]. Suv ta'minoti tizimlarida mishyakning mavjudligi so'nggi bir necha o'n yilliklarda global miqyosda dolzarb muammolardan biri bo'lib kelmoqda. Tabiiy muhitda noorganik mishyak asosan ikki oksidlanish darajasida — As(V) (arsenat) va As(III) (arsenit) shakllarida uchraydi. Ushbu ikki valentlik holati tabiiy suv manbalarida ruxsat etilgan me'yorlardan yuqori konsentratsiyada aniqlanganda inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug'diradi. Shu sababli, mishyak ionlarini suvdan ajratib olish bo'yicha turli texnologiyalar — membranali filtrlash, adsorbsiya va ion-almashinish usullari — keng qo'llanilmoqda va takomillashtirilmoqda. Mazkur maqola mishyakni olib tashlash samaradorligini, ayniqsa bo'linish koeffitsienti (BK) kabi asosiy ish faoliyati ko'rsatkichlari asosida baholash orqali turli funkcionallashtirilgan adsorbentlar haqidagi mavjud ilmiy ma'lumotlarni tahlil qilishga bag'ishlangan. Umuman olganda, yangi avlod materiallari an'anaviy adsorbentlarga nisbatan As(V) va As(III) ionlarini ajratib olishda yuqoriroq

samaradorlikni namoyon etgan. Xususan, $\text{ZrO}(\text{OH})_2/\text{CNT}$ (uglerod nanotubalari bilan modifikatsiyalangan gidroksizirkoniy) asosidagi takomillashtirilgan sorbent $584,6 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$ (As(V)) va $143,8 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$ (As(III)) bo‘linish koeffitsienti qiymatlari bilan yuqori ko‘rsatkichlarga erishgan. Bundan tashqari, ushbu material yuqori regenerativlik xususiyatini namoyon etib, uchta sorbsiya–desorbsiya siklidan so‘ng ham $>90 \%$ desorbsiya samaradorligini saqlab qolgan. Mazkur tahlil natijalari tadqiqotchilarga oqova va ichimlik suvlarida mishyak ionlari miqdorini kamaytirish bo‘yicha samarali va ilmiy asoslangan strategiyalarni ishlab chiqishda muhim nazariy hamda amaliy asos bo‘lib xizmat qilishi kutilmoqda[7.]. Mis, nikel, rux, xrom va temir ionlari oqova suvlarida asosiy ifloslantiruvchi moddalar hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, biz ushbu ishda qayta tiklanadigan manbalardan olinadigan arzon materiallar asosida tayyorlangan ionli kriyogel (IK) sorbentning ko‘p komponentli metall ion eritmalariga nisbatan sorbsiya xususiyatlarini o‘rganamiz. IQ sorbent chitosan matritsasi va tabiiy zeolitni o‘z ichiga olgan kompozitsiya asosida mis bosish va bir yo‘nalishli muz stensiling usullarini birlashtirib, oddiy strategiya yordamida sintez qilindi. Natijada oqim kanallarining bir o‘lchovli yo‘nalishi va ularning o‘zaro bog‘liqligi anizotropik IK strukturasida metall ionlarining tez tarqalishini qo‘llab-quvvatlaydi. Sorbentni qo‘llash samaradorligi 30 daqiqadan so‘ng 50% ga yetdi, sorbsiya muvozanatiga esa 150 minut ichida erishildi. Shablon sifatida ishlatiladigan mis ionlarining radiusi bilan boshqariladigan, aniq belgilangan o‘lchamdagi bo‘shliq hosil bo‘lishining muvaffaqiyatini baholash maqsadida ikki, uch va besh komponentli sintetik aralashmalarda selektivlik tadqiqotlari o‘tkazildi. IQ sorbentning real fotoetching oqova suvlarida samaradorligi ham qo‘shimcha baholandi; natijada, IQning 6 gL^{-1} dozasi yordamida ushbu turdagi sanoat oqova suvlaridan $98,89 \%$ Cu^{2+} , $94,56 \%$ Fe^{3+} , $91,67 \%$ Ni^{2+} , $92,24 \%$ Zn^{2+} va $82,76 \%$ Cr^{3+} ionlarini olib tashlash mumkinligi aniqlandi [8.]. Og‘ir metallar bilan ifloslanish ekologik muhit va inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug‘diradi. Shu sababli, bu zaharli ifloslantiruvchi moddalarni turli murakkab substratlardan samarali ajratib olish alohida ahamiyat kasb etadi. Hozirgi vaqtda adsorbsiya eng samarali usullardan biri sifatida keng qo‘llanilmoqda. Koordinatsion bog‘lanishlar orqali metall ionlari yoki metall klasterlari

va organik ligandlar bilan tashkil topgan g'ovakli kristall materiallar — metall-organik ramkalar (MOR) — yuqori sirt maydoni, rivojlangan g'ovakligi hamda yaxshi kimyoviy va termik barqarorligi tufayli yaqinda analitik va ekologik kimyo sohalarida katta e'tiborni tortdi. Ushbu sharh asosan yangi adsorbsiya materiallari sifatida turli atrof-muhit namunalardan og'ir metall ionlarini samarali ajratish va olib tashlash uchun qo'llanilgan UiO seriyali seriy asosidagi MORlar va ularning kompozitlariga qaratilgan. Bundan tashqari, UiO-MOR va uning kompozitlarini sintez qilish usullari, ularni og'ir metall ionlarini olib tashlashda qo'llash tajribalari batafsil taqdim etilgan. Shuningdek, og'ir metall ionlari uchun qattiq sorbent sifatida UiO-MORning adsorbsiya xususiyatlari va mexanizmi, jumladan, adsorbsiya izoterma tenglamalari, termodinamika va adsorbsiya kinetikasi ham muhokama qilingan. Shu maqsadda, MOR asosidagi kompozitlarni ishlab chiqish yo'nalishlari ham ko'rib chiqilgan. Ushbu adabiyotda sorbentlarga og'ir metall ionlarining adsorbsiya mexanizmini tushunish va oqava suvdagi ifloslantiruvchi moddalarni samarali ajratish uchun yuqori samarali tizimlarni yaratish bo'yicha yangi ilmiy g'oya sifatida xizmat qiladi [9]. Ishlatilgan alumina katalizatori (keyingi o'rinlarda Al_2O_3) neft-kimyo sanoati chiqindilari bo'lib, asosan γ -aluminiy oksidi, beomit va organik moddalarni o'z ichiga oladi. Atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirish maqsadida ushbu ishda ishlatilgan alumina katalizatori tavsiflangan va modeldagi ifloslangan suvdan organik ligandlar yordamida og'ir metall ionlarini samarali olib tashlash uchun qo'llanilgan. Ishlatilgan alyuminiy oksidi katalizatorining teshiklari o'lchanadigan umumiy g'ovak hajmining 25 % ni to'ldirish tezligida suvli etanol eritmasida ditizon (DTZ) va 2-amin-1-metilbenzimidazol (MAB) bilan singdirilgan. Ushbu yangi qattiq fazali sorbentlarning ($\text{DTZ-Al}_2\text{O}_3$ va $\text{MAB-Al}_2\text{O}_3$) sorbsiya qobiliyati modeldagi ifloslangan suvdan og'ir metall ionlarini (Ni^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+}) ajratib olish orqali baholangan. $\text{MAB-Al}_2\text{O}_3$ uchun eng yuqori sorbsiya quvvatlari quyidagicha aniqlangan: Ni^{2+} — 0,37 mmol/g, Zn^{2+} — 0,54 mmol/g va Cd^{2+} — 1,01 mmol/g. $\text{MAB-Al}_2\text{O}_3$ sorbenti selektivligi pastroq bo'lgan uchlamchi eritmada ham metall ionlarini shunga o'xshash darajada adsorbsiya qila oladi, holbuki $\text{DTZ-Al}_2\text{O}_3$ sorbenti Ni^{2+} va Zn^{2+} ionlarini adsorbsiya qilishi mumkin, ammo Cd^{2+} ni adsorbsiya qilmaydi. Og'ir metall ionlari kontsentratsiyasi,

pH, harorat va kontakt vaqti sorbsiya qobiliyatiga ta'siri o'rganilgan. MAB–Al₂O₃ ga og'ir metall ionlarini adsorbsiya qilish mexanizmi og'ir metall ionlarining g'ovakli Al₂O₃ yuzasida fizik sorbsiya qilinishi va MAB–Al₂O₃ sorbenti bilan kuchli kimyoviy reaksiyaga kirishish orqali izohlanishi mumkin. Tayyorlangan qattiq fazali sorbentlar ifloslangan suvdan og'ir metall ionlarini samarali olib tashlash bilan birga bir qator afzalliklarga ega: chiqindilarni yo'q qilish, qayta ishlanishi, keng ko'lamda qo'llanish, arzonligi va tayyorlash qulayligi [10.]. Ifloslantiruvchi moddalarni ajratib olishda magnit sorbentlardan foydalanish samarali, ishlatish uchun qulay va arzon usul sifatida ko'rinadi. Biroq, ko'pgina tadqiqotlar faqat namunaviy eritmalar yordamida sorbsiya xususiyatlarini o'rganishga qaratilgan bo'lib, haqiqiy oqova suvlarni tadqiq qilish deyarli amalga oshirilmagan. Shu sababli, ushbu tadqiqot Zn(II), Cd(II) va Pb(II) kationlarini metallurgiya chiqindilaridan ajratib olish uchun magnit o'zgartirilgan montmorillonit (MMt) sorbentining qo'llanilishini baholashga qaratilgan. Birinchidan, MMt ning sorbsiya kinetikasi va izotermik xossalarini tavsiflash uchun **model eritmalar** tayyorlangan. O'rnatilgan barqarorlashtirish samaradorligi 98 % dan yuqori bo'lgan. Model eritmalaridagi maksimal sorbsiya quvvatlari (q_{max}) mos ravishda Zn(II), Cd(II) va Pb(II) uchun 34,3, 2,84 va 7,25 mg/g sifatida aniqlangan. So'ngra MMt haqiqiy metallurgiya chiqindilaridan Zn(II), Cd(II) va Pb(II) ionlarini ajratish uchun ishlatilgan. Metallurgiya chiqindilari filtratlarida olingan eksperimental natijalar model eritmalar bo'yicha olingan ma'lumotlar bilan mos kelgan. Model eritmasi va metallurgiya chiqindilaridan og'ir metall ionlarini adsorbsiya qilish natijasida olingan sorbentning muvozanatli sorbsiya sig'imi quyidagi tartibda bo'lgan:

- Changni siqib chiqaruvchi moddalar uchun: Zn(II) > Pb(II) > Cd(II)
- Konvertor loy filtratlari uchun: Zn(II) > Cd(II) > Pb(II)

Bu tartib filtratlardagi og'ir metall ionlarining konsentratsiyasiga bevosita mos keladi. Bundan tashqari, MMt tomonidan Zn(II), Cd(II) va Pb(II) ning yo'q qilinishi qayta ishlash tajribasining beshinchi siklida ham 98 % dan yuqori bo'lgan. Sorbsiya jarayonidan so'ng sorbent magnit faolligicha qolgan, bu esa uni eritmadan osongina ajratib olish imkonini bergan[11.]. Mikroto'lqinli isitish yordamida suvli

eritmalaridan og'ir metall ionlarini ajratishning yangi, yuqori samarali usuli o'rganildi. Tanlangan qattiq material-3-aminopropiltrioksisilan bilan funksionalangan [nano-Fe₃O₄-SiO₂-NH₂], ya'ni nano-magnit temir oksidi, mikrotolqinli protsedura yordamida sintez qilinadi. Ushbu magnit nanosorbentning to'rt xil ikki valentli metall ionlari bilan sorbsiya xususiyatlari o'rganilgan: Pb(II), Cu(II), Cd(II) va Hg(II). Metal ionlari sorbent bilan o'zaro ta'sir qilgan eritma mikrotolqinli pechda 5–30 soniya davomida isitilgan [12]. Magnit qattiq fazali ekstraksiya (MQFE) asosida suvli namunalardan og'ir metall ionlarini olishning bir vaqtning o'zida tezkor usuli o'rganildi. Fe₃O₄ ketakhol nanorzarrachalari superparamagnit temir oksidini ketakhol bilan qoplash orqali muvaffaqiyatli sintez qilindi. MQFE usuli uchun sorbent sifatida Fe₃O₄ ketakhol polimerizatsiya reaksiyasidan foydalangan holda tayyorlandi va u induktiv ravishda bog'langan plazma oqimi-in'eksion optik emissiya spektrometriya (FI-ICP-OES) qurilmasiga ulandi. Shu sorbent suv va meva namunalari ichidagi og'ir metall ionlarini aniqlash uchun ishlatilgan. Sintezlangan sorbentning og'ir metall ionlariga nisbatan selektivligi pH ga bog'liq. Og'ir metall ionlari magnit adsorbentga tanlab adsorbsiya qilinadi va keyin ekstraksiya idishining pastki qismida joylashgan kuchli magnit yordamida namuna eritmasidan osongina va tez ajratiladi. Sorbent yuzasidan og'ir metall ionlari eluatsiya qilingandan so'ng, olt tomondan yoqish-o'chirish in'eksion valfi yordamida oqimi FI-ICP-OES nebulizeriga 250 µL AOK qilindi. Maqsadli ion konsentratsiyasiga ta'sir qiluvchi parametrlar — pH, ekstraksiya vaqti, sorbent miqdori, eluent turi, eluent hajmi va desorbsiya vaqti o'rganilgan va optimallashtirilgan. Optimal sharoitlarda konsentratsiya omillari 67–138 oralig'ida aniqlangan. Aniqlash chegaralari 0,2–0,9 µg/L, nisbiy standart og'ishlar (RSD) esa 6,6 % dan past bo'lgan (n=6, C=10,0 µg/L) [13]. Belgilanilgan fizik-kimyoviy va morfologik xususiyatlarga ega hitinlignin moddasi namunaviy tizimlardan ekologik zararli metall ionlarini samarali adsorbent sifatida ajratishda ishlatilgan. Ushbu sorbentning qo'llanilishi, ayniqsa, haqiqiy sanoat chiqindilarini neytrallash va tozalash jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Funksional sorbentga Ni²⁺, Cu²⁺,

Zn^{2+} va Pb^{2+} ionlari adsorbsiya qilingan bo'lib, bu yangi mahsulotning yuqori sorbsiya qobiliyatini tasdiqlaydi. Bu birinchi navbatda uning yuzasidagi va tarkibiga kiruvchi biopolimerlardan kelib chiqqan ko'plab faol funksional guruhlar mavjudligi bilan bog'liq. Model eritmasidan ionlarning adsorbsiya jarayonining kinetikasi o'rganilgan va eksperimental ma'lumotlar 1-toifa psevdodik ikkinchi tartibli kinetik modelga juda yaxshi mos kelishi aniqlangan (korrelyatsiya koeffitsienti $R^2 \approx 0,999$) — bu Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} va Pb^{2+} ionlari uchun to'g'ri keladi.

Adsorbsiya izotermalari asosida olingan eksperimental ma'lumotlar Langmuir modeliga mos keladi. Hitin/lig'nin moddasining sorbsiya qobiliyati quyidagicha aniqlangan:

- Ni^{2+} — 70,41 mg/g
- Cu^{2+} — 75,70 mg/g
- Zn^{2+} — 82,41 mg/g
- Pb^{2+} — 91,74 mg/g

Termodinamik parametrlar tahlili jarayonning endotermik xususiyatini tasdiqlaydi. Shuningdek, nitrat kislota juda samarali desorbsiya qiluvchi (regeneratsiya qiluvchi) vosita sifatida ishlatiladi, bu hitin/lig'nin sorbentini samarali metall ion sorbenti sifatida qayta ishlatish imkonini beradi.

Hitin/lig'nin tizimining sorbsiya qobiliyati metall ionlari bo'yicha quyidagi tartibda joylashadi: $\text{Ni}^{2+} < \text{Cu}^{2+} < \text{Zn}^{2+} < \text{Pb}^{2+}$.

Bundan tashqari, elektroplatin va akkumulyator zavodlarining oqova suvlaridan Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} va Pb^{2+} ionlarini adsorbsiya qilish bo'yicha sinovlar o'tkazilgan, bu hitin/lig'nin sorbentining ekologik zararli metall ionlarini samarali adsorbsiya qilish qobiliyatini yana bir bor tasdiqlaydi[14].

Og'ir metallarning ifloslanishi antropogen manbalar tufayli global ekologik muammo darajasiga yetdi. Ularning zaharliligi va kancerogenligi sababli odamlar, suv hayoti va boshqa ekologik tizimlar uchun asosiy xavf hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, nanomateriallar (NM) oqova suvlaridan og'ir metall ionlarini ajratish

uchun mavjud sorbentlar orasida keng qo'llaniladi. Ushbu sharhda Cr(VI) sekvestrlash jarayonida turli nanomateriallar yordamida o'tkazilgan tadqiqotlar natijalari muhokama qilinadi. NMLar sirt effekti va kvant effekti kabi noyob xususiyatlarga ega bo'lib, Cr(VI) bilan ifloslangan oqova suvlarni tozalashda yuqori samaradorlikni namoyish etdi.

Nanomateriallarning boshqa xususiyatlari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- Katta sirt maydoni
- Yuqori sorbsiya sig'imi
- Yuqori selektivlik
- O'z-o'zini yig'ish xususiyati
- Yuqori reaktivlik va katalitik potensial

Bu xususiyatlar NMLarni an'anaviy Cr(VI) olib tashlash materiallariga nisbatan mukammal adsorbent materiallariga aylantiradi. Bundan tashqari, NMLarning funksionalizatsiyasi ularning xususiyatlarini yanada yaxshilaydi va Cr(VI) uchun sorbsiya qobiliyatini oshiradi. Oldingi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, sintez qilingan NMLar Cr(VI) uchun yuqori sorbsiya quvvatiga ega va sorbsiya qilingan metall ionlarini yuqori darajada ushlab turadi. Cr(VI) ning turli NMLar yoki uning funksionalizatsiyalangan materiallari bilan sorbsiya jarayoni quyidagi parametrlar bilan bog'liq:

- pH
- Sorbent miqdori
- Kontakt vaqti
- Harorat

Sorbsiya jarayonlarini tavsiflashda Langmuir izotermasi va psevdodik ikkinchi tartibli kinetik modellari eng yaxshi natijalarni beradi.

Turli NMLar va ularning funksionalizatsiyalangan turlariga ko'ra Langmuir modeli orqali aniqlangan Cr(VI) sorbsiya sig'imi quyidagicha:

- Uglerod nanomateriallari: 3,197–666,67 mg/g
- Metall va oksidli NMLar: 8,67–1052,63 mg/g
- Polimer kompozitlar: 59,17–85 mg/g [15.].

Suvli eritmada molekulyar darajada kremniy (Si)ga boy bioko'mirda qo'rg'oshin (Pb)ning sorbsiya mexanizmlarini ochib berish, bioko'mirlardan Pb va atrof-muhitdagi boshqa metall (suyuqlik) ifloslanishlarni samarali bartaraf etishda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli, ushbu tadqiqot fitolitlar va boshqa birikmalarning yuqori kremniyli Hindiston yong'og'i tolasi bioko'miri (HĖTB500) dagi Pb sorbsiyasiga qo'shgan hissasini o'rganishga qaratildi. Sorbsiya mexanizmlari quyidagi spektroskopik usullar orqali tahlil qilindi:

- Mikro-Rentgen-Fluoresans (MRF)
- Rentgen nurlari yordamida molekulyar o'rganish
- Yutish nozik tuzilishi (YNT)
- Skanerlash elektron mikroskopiya (SEM) + energiya dispersiv rentgen spektroskopiya (EDS)
- Rentgen diffraktometriya (XRD)

MRF va YNT natijalari shuni ko'rsatdiki: K, Ca, Cu, Mn va Fe elementlari chiqarilgan va Pb HĖTB500 da sezilarli darajada bog'langan.

Pb ning HĖTB500 da sorbsiya qilingan to'rt asosiy turi aniqlangan:

1. Pb karboksilati (masalan, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$)
2. $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$
3. PbSiO_3
4. PbCO_3

HĖTB500 tarkibidagi fitolitlarda Pb^{2+} ionlari asosan PbSiO_3 ga yaqin strukturadagi silikat joylarda sorbsiya qilingan. Bog'lanish joylarining Pb^{2+} sorbsiyasiga qo'shgan hissasi HĖTB500 uglerod skeletining tashqi devoriga bog'liq bo'lib, u mineral oksidlar va fitolitlar agregati tomonidan kiritilgandan kuchliroqdir.

HĖTB500 dagi organik uglerod funksional guruhlar, noorganik karbonatlar, silikatlar va fosfatlar asosan Pb^{2+} sorbsiya markazlarida hukmronlik qiladi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, HĖTB500 qo'rg'oshin bilan ifloslangan suv muhitini (masalan, kanalizatsiya) tozalash uchun istiqbolli material hisoblanadi.[16].

Energiya ishlab chiqarish tizimlarining suvga, shu jumladan qayta tiklanadigan energiya manbalariga bog'liqligi suvni ifloslantiradi. Shu sababli, energiya bilan bog'liq suv ifloslanishini nazorat qilish choralarini ko'rish muhim hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda sintetik oqova suvlardan zaharli mikroelementlarni bog'lash uchun keratindan olingan sakkizta biopolimer ishlab chiqilgan. Biopolimerlarning kimyoviy modifikatsiyalari ularning fiziko-kimyoviy xususiyatlariga ta'sir ko'rsatadi va natijada chiqindi suvlaridan ifloslantiruvchi moddalarni sorbsiya qilish qobiliyatini oshiradi.[17]. So'nggi 50 yil ichida gel minerallar yuzasida yoki ularning o'raloq qatlamlarida metallar, organik moddalar singishi va metall-organik komplekslar hosil bo'lishi keng o'rganildi. Ushbu tadqiqotda biz Cu^{2+} , trietilentetramin (TETA) va Cu-TETA komplekslarining rektoritda singish mexanizmlarini va ularni metall-TETA kompleksi orqali metallni olib tashlashda qo'llash imkoniyatlarini o'rganib chiqdik.

- Cu^{2+} , TETA va Cu-TETA ning rektorit tomonidan yutilishi tashqi yuzada va qatlamlararo bo'shliqda sodir bo'lgan. Bu qatlamlararo kationlar yoki komplekslarning o'lcham farqlari tufayli d001 masofasining o'zgarishiga olib kelgan.

- Rektoridagi Cu^{2+} va Cu-TETA yutilishi kation almashish jarayoni orqali amalga oshadi, ammo bu ustun qatlamlararo Ca^{2+} kationining stexiometrik desorbsiyasini ham ko'rsatadi.

- Rektoritda faqat TETA singishi interlayer Ca^{2+} kationi bilan kompleks hosil qilishi orqali sodir bo'lgan.

- TETA ning Cu^{2+} ga kuchli yaqinligi tufayli, Cu^{2+} ning katta qismi TETA–rektorit tomonidan sorbsiyalanadi.
- TETA rektoritidan Ca^{2+} desorbsiyasi qatlamlararo Ca kationining Cu^{2+} bilan almashtirilganligini tasdiqladi, ammo bu TETA ning olib tashlanishiga olib kelmadi.

Shunday qilib, TETA bilan modifikatsiyalangan loy minerallari alohida og‘ir metall ionlarini:

- yuz orqali yoki
- qatlamlararo kompleks hosil qilish orqali olib tashlash uchun samarali sorbentlar sifatida xizmat qilishi mumkin[18].

Ishqoriy–gidrotermik sharoitda sorbentlar ishlab chiqarish uchun qattiq maishiy chiqindilarni yoqish ostidagi kuldani foydalanish samarali va ekologik toza yondashuv sifatida ko‘rib chiqildi. Yoqish ostidagi kuldani olingan mahsulotlar suvdagi ifloslantiruvchi moddalarni, jumladan organik bo‘yoqlar (masalan, metilen ko‘k) va og‘ir metall ionlarini (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+}) adsorbsiyalash imkoniyati bilan baholandi. Xom kuldagi asosiy mineral fazalar – kvars va kalsit – konversiya jarayonidan so‘ng quyidagi tuzilmalarga aylantirildi: zeolit, natriy–alyuminiy–kremniy–fosforoksid–gidrat, katoit va kaliy–alyuminosilikat–gidrat. Hosil bo‘lgan mahsulotlar bargga o‘xshash mikro tuzilishga ega bo‘lib, diametri 100–500 nm oralig‘ida o‘lchanadi. Mineral fazaning o‘zgarishi va kul morfologiyasining evolyutsiyasi natijasida sirt maydoni 5,2 m²/g dan 45,1 m²/g gacha oshdi.

Eksperimental natijalar yoqish ostidagi kul asosidagi sorbentlarning adsorbsiyasi hemisorbsion xarakterga ega ekanligini va psuedo-ikkinchi tartibli kinetik modelga mos kelishini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, ushbu yondashuv barqaror chiqindilarni qayta ishlash va suvni ifloslantiruvchi moddalarni samarali tozalash imkonini beradi, bu esa uni ekologik va iqtisodiy jihatdan istiqbolli yechimga aylantiradi [19]. Chiqindi suv tizimlarida sorbentlar orqali metall ionlarini olib

tashlash samaradorligini baholashda ifloslantiruvchi moddalar ta'sirini hisobga olish muhimdir. Ko'pchilik tadqiqotlar faqat bitta yoki bir nechta metallni o'rganadi, bu esa sorbentning ish faoliyatini ortiqcha baholashga olib kelishi mumkin.

Ushbu tadqiqotda besh turdagi arzon sorbentlar: Hindiston yong'og'i po'stlog'i tolasi (HĖPT), yuqori o'choq shlaklari (YŶSH), chiqindi shinlardan maydalangan kauchuk (ChShMK), bioko'mir (BK) va temir bilan qoplangan bioko'mir (FeBK) shartli yomg'irli kanalizatsiya suvlaridan (IMS) Cd, Cr, Cu, Ni, Pb va Zn ionlarini bir vaqtda olib tashlash uchun tekshirildi. Ushbu suvda oziq moddalari va politsiklik aromatik uglevodorodlar ham mavjud edi. Natijalar shuni ko'rsatdiki: HĖPT va YŶSH barcha tizimlarda (bitta va ko'p ifloslantirilgan) metall ionlarini eng yuqori darajada sorb qilgan (>95%). Boshqa sorbentlarda esa, eritmada qo'shimcha ifloslantiruvchi moddalar mavjudligi metallni olib tashlash samaradorligini kamaytirgan: bitta metall > ko'p metall > ko'p ifloslantiruvchi moddali eritmalar. Metallni tozalash samaradorligi odatda $Cr \sim Cu \sim Pb > Ni > Cd > Zn$ tartibida kuzatilgan. Gumin kislotasi (GK) metall ionlarining sorbsiyasiga salbiy ta'sir qilgan, bu ehtimol eruvchan GK–metall komplekslarining shakllanishiga bog'liq. NaCl konsentratsiyasi olingan natijalarga sezilarli ta'sir ko'rsatmagan, ammo ishqoriy pH sorbsiyani yaxshilagan. Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, sorbentlarni amaliyotga tadbiq qilishdan oldin, haqiqiy yomg'ir suvining kimyoviy tarkibi, jumladan qo'shimcha ifloslantiruvchi moddalar mavjudligi sharoitida sinovdan o'tkazilishi kerak, bu esa sorbentning ish faoliyatini to'g'ri baholash imkonini beradi [20]. Litiy silikatlar yuqori CO₂ sorbsiyasi va issiqlikka chidamlilikka ega. LiOH va silika kukuni sayyoraviy balli tegirmon usuli yordamida sintez qilinib, TGA, DSC, XRD, FTIR va FESEM metodlari orqali struktura va morfologik xususiyatlari aniqlangan. Sintezlangan sorbentning CO₂ sorbsiyasi dinamik, izotermik va siklik sharoitlarda termogravimetriya yordamida o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, material 30,5% CO₂ ni sorb qilgan va 10 sikldan so'ng ham sorbsiya qobiliyatini saqlab qolgan. CO₂ sorbsiyasi va

desorbsiyasi kinetikasi mos ravishda Avrami–Erofeev va Kissinger–Akahira–Sunose metodlari bilan tahlil qilingan.

Litiy silikatda CO₂ sorbsiyasi sirt kimyosorbtsiyasi va diffuziya orqali amalga oshgan bo‘lib, faolashish energiyalari mos ravishda 79 kJ·mol⁻¹ va 109 kJ·mol⁻¹ ni tashkil qilgan. CO₂ desorbsiyasining aktivatsiya energiyasi desorbsiyaga qarab 91–146 kJ·mol⁻¹ oralig‘ida o‘zgaradi [21.]. Ushbu ishda cheklangan o‘shish usuli yordamida matritsada ehtiyotkorlik bilan taqsimlangan alkil guruhlari bilan boyitilgan va g‘ozenekli tabiati mavjud bo‘lgan aminoalkilsiloksan qattiq matritsasi tavsiflanadi. Mazkur sorbent CO₂ sorbsiyasi uchun ideal hisoblanadi. Sorbent CO₂ ga nisbatan yuqori sorbsiyaga ega (4 mmol CO₂/g) va selektiv xususiyatlarni namoyish etadi. U bo‘shliq bilan boy va yetarlicha termal barqarorlikka ega. Sorbsiya 100 °C dan past haroratlarda, desorbsiya esa 100–200 °C oralig‘ida sodir bo‘ladi. Shuningdek, sorbent tomonidan CO₂ ning bir vaqtning o‘zida sorbsiyasi va desorbsiyasi jarayonida entalpiya o‘zgarishi keskin kuzatiladi; bunday entalpiya o‘zgarishi siklik sorbsiya-desorbsiya (SSD) jarayonining muhim xususiyati sifatida qaraladi [22]. Ushbu ishda cheklangan o‘shish usuli yordamida matritsada ehtiyotkorlik bilan taqsimlangan alkil guruhlari bilan boyitilgan va g‘ozenekli tabiati mavjud bo‘lgan aminoalkilsiloksan qattiq matritsasi tavsiflanadi. Mazkur sorbent CO₂ sorbsiyasi uchun ideal hisoblanadi. Sorbent CO₂ ga nisbatan yuqori sorbsiyaga ega (4 mmol CO₂/g) va selektiv xususiyatlarni namoyish etadi. U bo‘shliq bilan boy va yetarlicha termal barqarorlikka ega. Sorbsiya 100 °C dan past haroratlarda, desorbsiya esa 100–200 °C oralig‘ida sodir bo‘ladi. Shuningdek, sorbent tomonidan CO₂ ning bir vaqtning o‘zida sorbsiyasi va desorbsiyasi jarayonida entalpiya o‘zgarishi keskin kuzatiladi; bunday entalpiya o‘zgarishi siklik sorbsiya-desorbsiya (SSD) jarayonining muhim xususiyati sifatida qaraladi.[23]. Namuna tayyorlashdan oldingi ishlov berish uchun qattiq fazali ekstraksiya bir qancha afzalliklarga ega: qisqa ishlov berish vaqti, tez ajratish, yuqori boyitish samaradorligi, tez tiklanish, emulsiya hosil qilmasligi, arzonligi, past erituvchi iste‘moli va turli ilg‘or aniqlash usullari bilan birlashtirish imkoniyati. Biroq, qattiq fazali ekstraksiya usullarining

to'liq samaradorligi faqat mos sorbentdan foydalangan holda ta'minlanadi. G'rafen va unga asoslangan materiallarning o'ziga xos xossalari, xususan, ultra-katta yuzasi va delokalizatsiyalangan p-elektron tizimi, ularni qattiq fazali ekstraktsiya uchun samarali sorbent sifatida ishlatish imkoniyatini oshiradi. Ushbu maqola so'nggi o'n yillikda an'anaviy mikroekstraktsiya, dispersiv qattiq fazali ekstraktsiya, pipetka uchi ekstraktsiyasi va magnit qattiq fazali ekstraktsiyada sorbent sifatida g'rafen va grafen asosidagi yangi materiallardan foydalanishdagi o'zgarishlarni ko'rib chiqadi. Bundan tashqari, ushbu sohada mavjud muammolar va kelajakda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan rivojlanish yo'nalishlari tahlil qilinadi. [24]

1.2-§. Tarkibida kremniy tutgan organogibrid sorbentlarni sintezi va qo'llanilishi.

Mamlakatimizda noyob va og'ir metallarni kompleks birikmalari koordinasion kimyo sohasida nafaqat fundamental, balki amaliy tadqiqotlar uchun ham muhim ob'ekt hisoblanadi. Xalqaro miqyosida esa, tarkibida azot, fosfor va oltingugurt bo'lgan ligandlarni organik polimer va mineral matritsalariga immobilizatsiya qilish orqali tanlovchan, samarali va kompleks hosil qiluvchi sorbentlar ishlab chiqish yo'nalishida ilmiy-tadqiqot ishlar faol olib borilmoqda. Respublikamizda mustaqillikka erishilgandan so'ng kimyo sanoatida yangi turdagi mahsulotlarni ishlab chiqarishni rivojlantirish yo'nalishidagi ilmiy izlanishlar yuqori darajada tashkil etish va mahalliy bozorni import o'rnini bosa oladigan kimyoviy reagentlar bilan ta'minlash borasida keng qamrovlichora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishildi[25.].

Tarkibida kremniy tutgan barcha minerallar va sintetik sorbsion materiallar turli xil fizik kimyoviy va texnik xususiyatlarga ega bo'lgan keng birikmalar guruhini tashkil qiladi[26.]. Tarkibida kremniy tutgan barcha ma'lum sorbentlar ikkita asosiy toifaga bo'linadi. Tarkibida kremniy dioksid tutgan va kimyoviy modifikatsiyalangan mahsulotlarga asoslangan birinchi tabiiy va sintetik mineral

tashuvchilar. Ushbu materiallarni tayyorlash fizik-kimyoviy xususiyatlari va qo'llanilishi ko'plab ilmiy ishlarda keltirilgan[27.].

Zararli organik suyuqliklarning suv resurslariga oqishi tirik organizmlarga xavfli ta'sir ko'rsatdi. Bu erda s-PPG va organosilan o'zaro bog'lovchi yordamida gibril sorbentlarni ishlab chiqarishni ko'rsatilgan. Yakuniy mahsulot yuqori, tez assimlatsiya qilish qobiliyati, qayta ishlashi va oqova suvdan yog'ni mukammal ajratish xususiyatlarni ko'rsatdi. Ular shuningdek suvning tubi va yuzasidan turli xil moylarni hatto to'liqinli muhit va suvning noldan past haroratlari kabi og'ir muhitlarda ham sig'imini o'zgartirmasdan tanlab oladi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, olingan sorbentlar og'ir sharoitlarda ham neftni suv yuzasidan samarali ravishda olib tashlaydi va moy sorbsiyasidan oldin va keyin suv yuzasida sig'imini yuqotmasdan va sutrukturaviy o'zgarishlarsiz suzib yuradi. Boshlovchi erituvchi, faollashtiruvchisiz reaksiya muhiti, yuqori va selektiv sorbsiya xususiyatlari va yuqori qayta foydalanish imkoniyati ushbu sorbentlarni suvni zararli organik suyuqliklardan singdirish orqali tozalash uchun istiqbolli nomzodlarga aylantirish mumkin[28.].

Suv ta'minotida mishyak mavjudligi so'ngi bir necha o'n yilliklarda keng tarqalgan muammo bo'lib kelgan. Tabiiy muhitdagi noorganik mishyak ionlari asosan ikki oksidlanish darajasida, As(V) va As(III)da uchraydi. Mishyak ionlarining bu ikki oksidlanish darajasi tabiiy suvlarda keng tarqalgan va qabul qilinadigan chegaralar ichida yoki undan yuqori bo'lsa, inson salomatligi uchun katta xavf tug'diradi. Shu sababli, mishyak ionlari bilan ishlash turli usullar asosida yanada qattiqroq bo'ldi[29.]. Mis, nikel, rux, xrom va temir ionlari oqova suvlarida asosiy ifloslantiruvchi moddalardir[30.]. Tabiiy suv resurslarida seriyning to'planishi jiddiy ekologik muammolarni keltirib chiqarishi mumkin. Yana bir jihat – metallurgiya chiqindilarining to'planishidir. Rossiyaning Chelyabinsk shahri yaqinida joylashgan metallurgiya chiqindilari tarkibidagi sriy ionlarini (Ce^{3+}) immobilizatsiya qilishga qodir bo'lgan kukun shaklida va donador kalsiy

alyumosilikatlar ($\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) asosida kombozit sorbentlar ishlab chiqarish uchun xom ashyo sifatida o'rganildi. Tajribalar davomida Se^{3+} ionlari yuqori konsentratsiyali (1000 mg/l) bo'lgan suvli eritmalar qo'llanilgan. Kalsiy (Ca^{2+}), magniy (Mg^{2+}), kremniy (Si^{4+}) va alyuminiy (Al^{3+}) ionlari uchun migratsiya xususiyatlari o'rganilgan. Se^{3+} ionlarini ajratish darajasi 24 soat ichida kukunli sorbentlar uchun 93,36%, donador sorbentlar uchun esa 99,98% tashkil qilgan. Sorbentlarning sorbat bilan o'zaro ta'sirlashuvi Ca^{2+} va Mg^{2+} ionlarining sorbent matritsasi bilan suvli eritmaga almashinish bilan amalga oshgan. Desorbsiya jarayoni distillangan suvda o'rganilgan. Tadqiqot natijalari suvli eritmada Se^{3+} ionlarining kukun va donador sorbentlarga yuqori darajada qaytarilmas sorbsiyasini ko'rsatgan. Maydalangan metallurgiya chiqindi shlagining arzon narxi, saqlashning ekologik jihatlari va yuqori sorbsiya qobiliyati ushbu xomashyoni qayta ishlash va undan sorbent sifatida foydalanish, keyinchalik yirik tabiiy ob'yektlarni Se^{3+} seriy ionlaridan tozalash imkonini beradi [31.]. Suvdan mikroifloslantiruvchi moddalarni olib tashlash uchun samarali sorbentlarning yangi loyihasi taklif qilinmoqda: γ -alyuminiy oksidi ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) nantolalarning tashqi yuzasini ifloslantiruvchi moddalarga kuchli yaqinlikka ega bo'lgan funksional guruhlar bilan payvandlash. Ushbu yangi payvandlash strategiyasi ushbu sorbsiya jarayonining adsorbatlarga kirishishini va shuning uchun tolali sorbentlarning ishlashini sezilarli darajada yaxshilaydi. Mahsulot sorbentlari ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi juda past bo'lsa ham ifloslantiruvchi moddalarni tanlab olishi mumkin. Oddiy gidrotermik usullar bilan har xil o'lchamdagi ikki turdagi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ nantolalar olingan. Kein tiol guruhlar 3-merkaptopropiltrimetoksisilanning toluol eritmasini qayta oksidlash orqali $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ tolalariga payvand qilindi. Tiol guruhlar bilan modifikatsiyalangan tolalar nafaqat og'ir metal ionlarini (Pb^{2+} va Cd^{2+}) yuqori oqimda suvdan samarali olib tashlashga qodir bo'lgan balki sorbsiya muvozanati sharoitida ham yuqori sorbsiya qobiliyatiga ega. Xuddi shunday natija 4-nonilfenolning yuqori darajada suyiltirilgan hidrofik molekulalarini suvdan selektiv adsorbsiyalash uchun ishlatiladigan payvandlangan oktil guruhlar bo'lgan

nanotolalar uchun olingan. Ushbu tadqiqot nanofiber payvandlash samarali sorbentlarni ishlab chiqish uchun yangi va samarali strategiya ekanligini ko'rsatadi. [32.].

1.3-§.Tarkibida azot, oltingugurt va kremniy tutgan sorbentlar va ular asosida oqova suvlarni tozalashda qo'llanilishi.

Adabiyotlardan ma'lumki, karbamid va tiokarbamidning formaldegid bilan kislotali muhitda kondensatsiya reaksiyasi o'rganilgan. Olingan mahsulotlar ion almashinuvchi smolalar sifatida sinovdan o'tkazilgan va ushbu smolalarning ion almashinuv siqimlari tadqiq qilingan. [33.]. Ion almashinuvchi polimerlar sintezida polikondensatsiya usuli, issiqlikka chidamli qimmatbaho yuqori molekulyar birikmalarning katta guruhini sintez qilish uchun keng qo'llaniladi. Bu usulning kimyo sanoatida keng miqyosda qo'llanilishi, Respublikamizda xom-ashyoning (ammiak, karbamid, tiokarbamid, aldegidlar, akrilonitril) yetarli ekanligi bilan ham bog'liq. Polikondensatsiya jarayoni ko'p sonli monografiyalar va tahliliy ilmiy maqolalarda yetarlicha tahlil qilingan va ushbu jarayonning texnologik parametrlari ishlab chiqilgan. [34.]. Tiokarbamidning adabiyotlarda turli xil moddalar bilan reaksiyasi keltirilgan bo'lib, ulardan biri, tiokarbamid epixlorgidrin bilan xona haroratida shiddatli ravishda issiqlik ajralishi bilan o'zaro ta'sirlashadi. Epixlorgidrinning tiokarbamid bilan reaksiyasi tezligini bir xil ushlash va ekzotermiklikni pasaytirish uchun kondensatsiya reaksiyasi erituvchi ishtirokida o'tkaziladi. Erituvchilar sifatida esa etil, izoamil spirtlar, dimetilformamid, toluoldan foydalaniladi. [35.]. Polimer sorbentlar olishda yuqori unumiga izoamil spirt va dimetilformamiddan foydalanilganda erishiladi. Reaksiya tezligi va polimer unumi ishlatiladigan erituvchi miqdoriga bog'liq. Kondensatsiya reaksiyasining davomiyligi, anionit xossasiga tiokarbamid va erituvchi massa nisbatlari (0,5:1,0:1,5:2,0:2,5) ning ta'siri atroflicha o'rganildi. 1 massa qism tiokarbamidga 0,5–0,6 massa qism erituvchidan foydalanilganda, kondensatsiya reaksiyasi

shiddatli sur'atda boradi va bunda mexanik mustahkamligi kam bo'lgan mo'rt polimer hosil bo'ladi. Erituvchi miqdorining 1,5 dan 2,5 massa qismga ortishi reaksiya massa qotish vaqtining uzayishiga olib keladi (100–120 soat). Bir massa qism erituvchi va 1 massa qism tiokarbamididan foydalanilganda, kondensatsiya jarayoni bir maromda boradi va olingan mahsulotning mexanik chidamliligi yaxshi hamda yetarlicha almashinish sig'imiga ega bo'ladi. [36.]. Polimer zanjirlarining ko'p sonli amino/karboksilik guruhlar bilan kremniy mikrozararlari yuzasini o'zgartirish turli maqsadlar uchun nanostrukturali kompozit materiallarni olishning qiziqarli usuli hisoblanadi. Bunday holda, to'rtta kuchsiz polikation (PK) polietilenimin (PEI), polilizin (PL), polivinilamin (PVA), polialilamin gidrokslorid (PAG) va bitta zaif polianion poliakril kislota (PAK)] sferik qatlamda qatlamma-qat yotqizilgan. Kompozit mikrozararlarni hosil qilish uchun kremniy dioksidi ishlatiladi. Kompozit mikrozararlar oxirida kremniy dioksidi (PK–GA/PAK)_n hosil qilish uchun PAK qatlamini yotqizishdan oldin har bir yotqizilgan polikation qatlam kimyoviy jihatdan glutaraldehid (GA) bilan o'zaro bog'langan strategiya ishlatilgan. Nihoyat, biz kompozit zarralarning potensial qo'llanilishi sifatida simulyatsiya qilingan va haqiqiy er usti suvidan metall ionlariga (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} va Fe^{2+}) adsorbsion xususiyatlarini o'rganib chiqdik. [37.]. Ifloslantiruvchi moddalarni olib tashlash uchun magnit sorbentlardan foydalanish samarali, ishlatish uchun qulay va arzon usul bo'lib ko'rinadi. Biroq, ko'pgina tadqiqotlar namunalik eritmalar yordamida sorbsion xususiyatlarini o'rganishga qaratilgan va haqiqiy oqava suvlarni o'rganish deyarli yo'q. Shunday qilib, ushbu tadqiqot Zn(II) , Cd(II) va Pb(II) kationlarini metallurgiya eritmalarida chiqindilaridan olib tashlash uchun magnit o'zgartirilgan montmorillonit (MMt) ning qo'llanilishini baholashga qaratilgan.

Birinchidan, MMt sorbsion kinetik va izotermik modellarning xossalarini tavsiflash uchun model eritmalarini tayyorlandi. O'rnatilgan bartaraf etish samaradorligi 98% dan ortiqni tashkil etdi. Model eritmalaridagi q_{max} qiymatlari mos ravishda Zn(II) , Cd(II) va Pb(II) uchun 3,43, 2,84 va 7,25 mg/g deb aniqlandi.

Keyinchalik MMT Zn(II), Cd(II) va Pb(II) ionlarini haqiqiy metallurgiya chiqindilaridan tozalash uchun ishlatilgan. Metallurgiya chiqindilari filtratlarida olingan eksperimental ma'lumotlar namunalik eritmalar bo'yicha olingan ma'lumotlarga mos keldi.

Model eritmasi va metallurgiya chiqindi liksivantlaridan og'ir metallarni adsorbsiyalash natijasida olingan muvozanatli metallni o'zlashtiruvchi sig'imi quyidagi tartibda bo'ladi: changni siqib chiqaruvchi moddalar uchun $\text{Zn(II)} > \text{Pb(II)} > \text{Cd(II)}$ va $\text{Zn(II)} > \text{Cd(II)} > \text{Pb(II)}$ konvertor loy filtratlar uchun, bu filtratlardagi og'ir metall ionlarining konsentratsiyasiga bevosita mos keladi.

Bundan tashqari, MMT tomonidan Zn(II), Cd(II) va Pb(II) ning yo'q qilinishi qayta ishlash tajribasining beshinchi tsiklida ham 98% dan yuqori edi. Sorbsiyadan keyin sorbent magnit faolligicha qoldi, bu esa uni eritmada olib tashlashni osonlashtirdi. MMT o'zini oqava suvlarni tozalash uchun mos keladigan samarali regeneratsiyalangan sorbent sifatida ko'rsatdi.[38]. Mikrotolqinli isitish yordamida suvli eritmalaridan og'ir metall ionlarini olishning yangi yuqori samarali usuli o'rganildi. Tanlangan qattiq material 3-aminopropiltrioksilan [nano-Fe₃O₄-SiO₂-NH₂] bilan ishlaydigan nano-magnit temir oksidi bo'lib, mikrotolqinli protsedura yordamida sintezlanadi. Ushbu magnit nanosorbentning to'rt xil ikki valentli metall ionlari bilan metall sorbsion xususiyatlari, ya'ni Pb(II), Cu(II), Cd(II) va Hg(II) sorbent bilan aloqa qilgan metall ionining o'zaro ta'sir qiluvchi eritmasini mikrotolqinli pechda 5–30 s davomida qizdirish orqali aniqlandi. Pb(II) eng ko'p olinadigan metall ioni bo'lib chiqdi va sig'im qiymati 5 soniya davomida qizdirilgandan keyin 1250 $\mu\text{mol g}^{-1}$, muvozanat sig'im qiymati esa 15 soniyadan keyin 1300 $\mu\text{mol g}^{-1}$ sifatida aniqlandi. Cu(II), Cd(II) va Hg(II) ning maksimal quvvatlari 25, 15 va 25 soniya davomida mikrotolqinli isitishdan keyin mos ravishda 1050, 350 va 350 $\mu\text{mol g}^{-1}$ sifatida tavsiflangan. Yig'ilgan ma'lumotlar mikrotolqinli sorbsion usuldan foydalanishga asoslangan og'ir metall ionlarini bir necha soniya ichida ularning matritsalaridan qattiq fazali ekstraktsiya qilishning ajoyib va yuqori samarali metodologiyasiga ishora qiladi. Funktsionallashtirilgan

Nano-Fe₃O₄-SiO₂-NH₂ sorbent mikrotolqinli tayyorlash tizimi yordamida sintez qilingan va FT-IR, SEM, HR-TEM, XRD va sirt maydonini aniqlash bilan tavsiflangan. [39.]. Og‘ir metallarning ifloslanishi antropogen manbalar tufayli global ekologik muammoga aylandi. Ular zaharliligi va kanserogenligi tufayli odamlar, suv hayoti va zararli suvni ifloslantiruvchi moddalar uchun asosiy xavf hisoblanadi. Nanomateriallar (NM) oqava suvlaridan og‘ir metallarni olib tashlash uchun mavjud sorbentlar orasida keng qo‘llaniladi.

Ushbu sharhda Cr(VI) sekvestrlashda turli NMLar yordamida o‘tkazilgan tadqiqotlar natijalari muhokama qilinadi. NMLar sirt effekti va kvant effekti kabi noyob xususiyatlari tufayli Cr(VI) bilan ifloslangan oqava suvlarni tozalashda samarali ekanligini isbotladi. Katta sirt maydonidan tashqari, ular yuqori sig‘im, yuqori o‘ziga xoslik, yuqori yaqinlik, o‘z-ozini yig‘ish, yuqori reaktivlik va katalitik potensial kabi o‘ziga xos xususiyatlarga ega bo‘lib, ularni an’anaviy Cr(VI) olib tashlash materiallariga nisbatan mukammal adsorbent materiallarga aylantiradi.

Aniqlanishicha, bu NMLarning funksionallashuvi ularning xarakteristikalarini yaxshilaydi va demak, Cr(VI) sorbsiya uchun NMLarning sorbsion qobiliyatini oshiradi. Oldingi tadqiqotlardan kelib chiqadiki, sintez qilingan NMLar Cr(VI) uchun yuqori sorbsiyaga ega va sorbsiyalangan metallarni yuqori darajada ushlab turadi.

Aniqlanishicha, Cr(VI) ning turli NMLar yoki uning funksionallashgan materiallari bilan sorbsiya qilish rH, sorbent miqdori, aloqa vaqti va haroratga bog‘liq. Langmuir izotermasi va pseudo ikkinchi tartibli kinetik modellari sorbsiya jarayonlarining muvozanat ma’lumotlarini eng yaxshi ifodalaydi.

Langmuir modeli tomonidan aniqlangan Cr(VI) sorbsiyasi uchun turli NMLarning belgilangan sorbsion qobiliyati:

- Uglerod nanomateriallari uchun 3,197 dan 666,67 mg/g gacha,
- Metall va oksidli NM metallar uchun 8,67–1052,63 mg/g,
- Polimer kompozitlar uchun 59,17–85 mg/g gacha bo‘lgan. [40.].

Suqli eritmada molekulyar darajada kremniy (Si) ga boy biokumirdagi qo‘rg‘oshin (Pb) ning sorbsiyalanish mexanizmlarini ochib berish biokumirlardan

Pb va atrof-muhitdagi boshqa metall (suyuqlik) ifloslanishlarni bartaraf etishda samarali foydalanishda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli, ushbu tadqiqot fitolitlar va boshqa birikmalarning yuqori kremniyli Hindiston yong'og'i tolasi biokumirida (HYOTB500) Pb ning sorbsiyasiga qo'shgan hissasini va spektroskopik usullarni, shu jumladan mikro-rentgen-fluoresans (MRF), rentgen nurlari yordamida tegishli sorbsiya mexanizmlarini o'rganib chiqdi.

Yutish nozik tuzilishi (YNT), skanerlash elektron mikroskopi energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi va rentgen differaktsiyasi bilan birlashtirilgan. MRF va YNT natijalari K, Ca, Cu, Mn va Fe ning chiqarilishini va Pb yuklangan HYOTB500 da Pb ga sezilarli darajada bog'langanligini ko'rsatdi; Pb ning to'rtta asosiy turi qo'rg'oshin karboksilatiga o'xshash tuzilishga ega bo'lgan (masalan, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$), $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, PbSiO_3 va PbCO_3 . HYOTB500 tarkibidagi fitolitlarda Pb^{2+} ionlari asosan PbSiO_3 ga yaqin struktura ega silikat joylarida sorbsiyalangan. Bog'lanish joylarining Pb^{2+} sorbsiyasiga qo'shgan hissasi HYOTB500 uglerod skeletining tashqi devoriga bog'liq bo'lib, u HYOTB500 dagi mineral oksidlar va fitolitlar agregati tomonidan kiritilganidan kuchliroq edi. HYOTB500 dagi organik uglerod funksional guruhlar, noorganik karbonatlar, silikatlar va fosfatlar asosan Pb^{2+} sorbsiya markazlarida hukmronlik qiladi. Bizning natijalarimiz shuni ko'rsatadiki, HYOTB500 qo'rg'oshin bilan ifloslangan suv muhitini (masalan, kanalizatsiya) tozalash uchun istiqbolli material edi.[41.]. Aralashmalarning suqli eritmalaridan lantan(III), seriy(III) va neodimiy(III) ionlarining sorbent og'irligiga, pH ga, faza bilan aloq qilish vaqtiga va 295 L da eritmalarining boshlang'ich konsentratsiyasiga qarab biokumirli kompozitlarga adsorbsion yo'li bilan sorbsiyasi o'rganildi.

Lantanid ionlarining maksimal chiqarilishi quyidagi sharoitlarda sodir bo'ladi: 0,1 g sorbent og'irligi, pH 4 va eritmalarining barcha o'rganilgan dastlabki konsentratsiyalari uchun aloqa vaqti 360 min. La (III) va Ce (III) ionlarining tez dastlabki yutilish bilan davom etuvchi sorbsion kinetikasi muvozanatga erishdi.

Bu jarayon pseudo-birinchi tartib, pseudo-ikkinchi tartib, zarracha ichidagi diffuziya va modellar yordamida modellashtirilgan. Shuningdek, biokarbonli

kompozitlardan 1 mol/L konsentratsiyada nitrat, xlorid va sulfat kislotalar bilan uchta lantanid ionining desorbsiyasi o'rganildi.

Sorbsion mexanizmini o'rganish uchun aralashmadan ionlar so'rilganidan keyin FTIR, XRD va XPC tahlillari o'tkazildi.[42]. Tadqiqotning maqsadi biokarbonli sorbent sirtlarining Cr (III) ni ajratishga ta'sirini o'rganish edi. Biokarbon makkajo'xori chiqindilaridan zig'ir somoniga qarshi karbonat angidrid atmosferasida 500 °C da o'tkazilgan piroliz orqali olingan. Ushbu biokarbonlar namunali suqli eritmalaridan xrom (III) ni olib tashlash uchun ishlatilgan. Makkajo'xori chiqindilaridan olingan biokarbonidan foydalanganda suqli eritmalaridan xrom (III) ni olib tashlash 97% (210 daqiqada), zig'ir somonidan olingan biokarbonidan foydalanganda esa 32% (210 minutda) ni tashkil qiladi.

Makkajo'xori chiqindilaridan olingan biokarbon holatida sorbsion samaradorligidagi farqlab kislorod organi funksional guruhlar mavjudligi bilan bog'liq. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, sirt maydoniga qaramay, makkajo'xori chiqindilaridan olingan biokarbon zig'ir somonidan olingan biokarbonga qaraganda yaxshiroq sorbsion natijalarni ko'rsatdi. Shu bilan birga, biokarbonning sorbsion qobiliyatini aniqlashning asosiy parametri biokarbon yuzasining rivojlanishi emas, balki biokarbon yuzasida xromni bog'lash qobiliyatiga ega funksional guruhlarning mavjudligi hisoblanadi. Olingan tadqiqot natijalari asosida biokarbon yuzasida xrom (III) bilan xelatlar (komplekslar) bo'lgan mexanizm taklif qilindi.[43].

Ushbu tadqiqotda og'ir metall ionlarini tezda yo'q qilish uchun yangi va samarali nanosorbent tayyorlandi. Taklif etilayotgan nanosorbent zol-gel jarayoni orqali sirt faol moddasi shablon sifatida mezoporoz kremniy oksidi va setiltrimetilamonyum bromid (CTAB) bilan qoplangan Fe₃O₄ magnit yadrosi yordamida ishlab chiqarilgan. Magnit nanomaterial bis (3-trietoksisilpropil) tetrasulfid (MSCMNPs-S4) bilan qo'shimcha ravishda o'zgartirildi. Yakuniy nanosferalar FTIR, XRD, TGA, BET, SEM, TEM, DLS, VSM, EDX va UV-Vis bilan tavsiflangan. Olingan mezoporoz nanomateriallarning potentsiali davriy tizimdagi suvli eritmalaridan zaharli og'ir metall ionlarini olib tashlash uchun qulay

va samarali adsorbent sifatida o'rganildi. Asosiy parametrlarning olib tashlash samaradorligiga ta'siri, shu jumladan namunaviy eritmaning boshlang'ich pH qiymati, adsorbent miqdori, metall ionlarining kontsentratsiyasi, aloqa vaqti, elyuentning turi va miqdori, (MSCMNPs-S4) ning adsorbsion xususiyatlari o'rganildi. Optimal sharoitlarda tavsiya etilgan nanosorbent 303,03, 256,41 va 270,27 mg/g yuqori adsorbsion qobiliyatni va Hg(II), Pd(II) va Pb(II) uchun 98,8%, 96,4%, 95,7% maksimal chiqarish tezligini ko'rsatdi. Mos ravishda ionlar adsorbsion mexanizmi Langmuir izotermasi modeli bilan yaxshi mos kelishi aniqlandi. Bundan tashqari, qayta foydalanish imkoniyatini o'rganish shuni ko'rsatdiki, ish unumdorligida sezilarli yo'qotishlarsiz kamida besh sikl davomida tez-tez ishlatilishi mumkin.[44.].

Suvli eritmadan Pb(II) va Cr(III) ni olib tashlash uchun vinase asosidagi yangi sorbentni tizimli tadqiq qilish ishlari olib borildi. Pb(II) va Cr(III) ionlarini olib tashlash uchun natriy gidroksidi bilan modifikatsiya qilingan va ishlov berilmagan distillash vinasi adsorbsion potensialini taqqoslash quyidagi parametrlarning ta'sirini hisobga olgan holda amalga oshirildi: pH, dozasi, kontakt vaqti va metall ionlarining dastlabki kontsentratsiyasi. Namunalar zarracha o'lchami analizatori, maxsus sirt analizatori, SEM, FTIR, zeta potensial o'lchovlari va XPS yordamida tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, MLDG RLDG ga qaraganda qo'polroq sirt va yumshoqroq tuzilishga ega bo'lib, -OH va -COOH adsorbsiyada ishtirok etadigan asosiy funksional guruhlardir. MLDG og'ir metall ionlari uchun RLDG ga qaraganda yuqori adsorbsion qobiliyatni ko'rsatdi. MLDG ning maksimal adsorbsion qobiliyati Pb(II) uchun 44,13 mg/g va Cr(III) uchun 19,80 mg/g, RLDG uchun esa Pb(II) uchun 11,69 mg/g va Cr(III) uchun 6,38 mg/g. Bundan tashqari, muvozanat adsorbsion ma'lumotlari Langmuir modeli tomonidan yaxshi ko'rsatildi va adsorbsion kinetika ma'lumotlari psevdodik-ikkinchi tartibli tenglama bilan yaxshi mos keladi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, natriy gidroksid bilan modifikatsiya qilingan stilaj og'ir metall ionlarini olib tashlash uchun istiqbolli sorbentdir.[44.].

Suvdan mikroifloslantiruvchi moddalarning olib tashlash uchun samarali sorbentlarning yangi loyihasi taklif qilinmoqda: γ -alyuminiy oksidi (γ - Al_2O_3) nanotolalarining tashqi yuzasini ifloslantiruvchi moddalarga kuchli yaqinlikka ega bo'lgan funksional guruhlar bilan payvandlash.

Ushbu yangi payvandlash strategiyasi ushbu sorbsion joylarning adsorbatlarga kirishini va shuning uchun tolali sorbentlarning ishlashini sezilarli darajada yaxshilaydi. Mahsulot sorbentlari ifloslantiruvchi moddalarning kontsentratsiyasi juda past bo'lsa ham, ifloslantiruvchi moddalarning tanlab olinishi mumkin. Oddiy gidrotermik usullar bilan har xil o'lchamdagi ikki turdagi γ - Al_2O_3 nanotolalar olingan. Keyin tiol guruhlari 3-merkaptopropiltrimetoksisilan (MPTMS) ning toluol eritmasini qayta oqimlash orqali γ - Al_2O_3 tolalariga payvand qilingan. Tiol guruhlari bilan modifikatsiyalangan tolalar nafaqat og'ir metall ionlarini (Pb^{2+} va Cd^{2+}) yuqori oqimda suvdan samarali olib tashlashga qodir, balki sorbsion muvozanat sharoitida ham yuqori sorbsion qobiliyatga ega. Huddi shunday natija 4-nonilfenolning yuqori darajada suyultirilgan gidrofobik molekulalarini suvdan selektiv adsorbsiyalash uchun ishlatiladigan payvandlangan oktil guruhlari bo'lgan nanotolalar uchun olingan. Ushbu tadqiqot nanofiber payvandlash samarali sorbentlarni ishlab chiqish uchun yangi va samarali strategiya ekanligini ko'rsatadi.[45.].

Bugungi kunda eng muhim global vazifalardan biri oqava suvlarni turli ifloslantiruvchi moddalardan, shu jumladan og'ir metallardan tozalashdir. Samaradorlik va narx jihatidan adsorbsiya oqava suvlarni tozalashning istiqbolli usuli hisoblanadi. Ushbu ishda metall sulfatlar va karbamid eritmalaridan prekursor sifatida foydalangan holda gidrotermik usulda tayyorlangan Al/Fe oksidi-oksigidroxid kompozit kukunlari xrom adsorbentlari sifatida o'rganildi. $[\text{Al}^{3+}]:[\text{Fe}^{3+}]$ nisbatining kompozitlarning fazaviy tarkibi, tekstura xossalari, morfologiyasi va issiqlik effektlariga ta'siri ham o'rganildi. $[\text{Al}^{3+}]:[\text{Fe}^{3+}] = 1:0$ va $1:1$ bo'lgan eritmalaridan sintez qilingan namunalarda maksimal solishtirma sirt maydoniga ($190 \text{ m}^2/\text{g}$) erishilishi ko'rsatildi. Eritmalardan Cr(VI) ning sorbsiyasi statik (davriy

adsorbsiya) va dinamik (ustunli adsorbsiya) sharoitlarda amalga oshirildi. Al tarkibidagi namunalarda yuzasida sulfat ionlarining mavjudligi Cr(VI) ning adsorbsiyasini bostirishi ko'rsatildi. $[Al^{3+}]:[Fe^{3+}]$ nisbat 1:6 bo'lgan eritmalaridan sintez qilingan namuna davriy adsorbsiyada (3,66 mg/g) maksimal adsorbsion sig'imga ega bo'lib, u yuqori (lekin maksimal emas) sirt maydoni ($102 \text{ m}^2/\text{g}$) bilan tavsiflanadi. Past sulfat miqdori va maksimal zeta potentsiali kuzatiladi. Sorbsion tajribalar shuni ko'rsatadiki, barcha namunalarda adsorbsiyaning o'rtacha erkin energiyasi 8 kJ/mol dan past bo'lib, bu adsorbsion jarayonning fizik xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi va Cr(VI) ning desorbsiyalanishi hamda adsorbentning regeneratsiyasi ehtimolini bildiradi. Ruxsat etilgan joyda adsorbsiya bo'yicha o'tkazilgan tajribalar natijalariga ko'ra, atipik egri chiziqlar shakli, shuningdek davriy adsorbsiya bilan solishtirganda sorbsion qobiliyatining taxminan 4–5 baravar oshishi qayd etilgan.[46.].

1.4-§.Organik va noorganik tuzilishga ega bo'lgan sorbentlarni olinishi va sanoatda miqyosida qo'llanilishi.

Sorbentlarni selektivligi turli qimmatbaho metallarning sintezida turli tadqiqotlar olib borilgan.Bir nechta adabiyotlarda oltin va kumushga nisbatan sorbsion faollikni namoyon qiluvchi politiokarbamid olish usuli keltirilgan.[47.].

Epixlorgidrinni ammiakning suvli eritmasi va uchlamchi aminlar bilan kondensatsiyalab ,tarkibida to'rtlamchi ammoniy guruhi bo'lgan suvda eriydigan oligomerlarolgan.So'ngra, polietilenpoliaminlarni qo'llab, xlormetil va epoksiguruhni choklagan.Reagentlar nisbati 0,5 mol (ammiaktrimetilamin) va 1 mol epixlorgidrin bo'lib,sintez qilingan anionitlar ionalmashinuvchi materiallarning odatdagi xossalaridan tashqari, gulukozaning piroliz mahsulotlarini yuqori saqlash xossasiga ega[48.]. Epixlorgidrinning turli aminlar bilan hosil qilgan oligamerlarning allilbromid bilan kondensatsiyasining optimal sharoiti o'rganilgan. Bunda PEPA qo'llanilganda ,reaksiyaning optimal sharoiti: harorat 500°C , EXG:PEPA:AB komponentlarning: 1:1:1 bo'lishi ko'rsatilgan[49.]. Antropogen

organik ifloslantiruvchi moddalar (AOIM) hatto past yoki iz konsentratsiyalarda ham inson ekotizimiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Turli xil atrof-muhit obyektlarida ularning miqdorini aniqlashga bo'lgan talabni qondirish uchun oldindan konsentratsiyalash usullaridan foydalanish (masalan, qattiq fazali ekstraksiya) protsedura samaradorligini va analitik sezgirlikni amaliy jihatdan yaxshilashning muhim tarkibiy qismiga aylandi. Nanomateriallar (NM) ifloslantiruvchi moddalar uchun sezilarli darajada yaxshilangan sorbsiya qobiliyatiga ega bo'lgan noyob strukturaviy va sirt xususiyatlari tufayli mos sorbsiya muhiti sifatida mukammal nomzodlar hisoblanadi. Ushbu sharh turli NMLardan (metall va aralash oksidli nanozarrachalar (NZ), uglerod nanomateriallari (fullerenlar, uglerod nanotubalari, grafen va grafen oksidi), polimer asosidagi nanokompozitlar (organik polimerlar, noorganik va gibrid polimerlar, molekulyar singdirilgan polimerlar)) foydalanishni ko'rib chiqadi, shuningdek dendrimerlar, kremniy va magnitli nanozarrachalarni analitik ilovalar uchun potensial sorbentlar sifatida baholaydi. Ushbu sharh NM asosidagi sorbsion ekstraksiya usullarining o'ziga xos xususiyatlarini har tomonlama ko'rib chiqadi, shuningdek ularning kelajakdagi istiqbollari va asosiy muammolarini muhokama qiladi [50.]. Tashuvchi sifatida makrog'ovak kuchli asosli anion almashinuvchiga asoslangan marganets (IV) oksidli gibrid ion almashgich (GIA) olindi. Kiritilgan MnO_2 (26,4% Mn) amorf bo'lib, polimer matritsasida bir tekis taqsimlangan. Gibrid material konsentratsiyasi 100–500 mg $\text{S}^{2-}/\text{dm}^3$ va pH 12,0–14,0 oralig'ida bo'lgan anoksik suvli eritmalaridan sulfidlarni olib tashlash uchun ishlatilgan. Sorbent tomonidan ko'rsatilgan eng yuqori sorbsiya qobiliyati 152,0 mg S^{2-}/g ni tashkil etdi. Erigan sulfidlarning qariyb 60 % qismi $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ gacha oksidlangan va GIA strukturasidan o'rganilayotgan tizimlarning suvli fazasiga qaytarilgan, 15 % qismi esa polisulfidlar shaklida sorbent granulalari bilan bog'langan. Aniqlangan sulfid adsorbsiyasi va oksidlanish mahsulotlari asosida sintezlangan gibrid materialdan foydalangan holda sulfidlarni olib tashlash jarayonining mexanizmi taklif qilindi [51.]. Mikrog'ovak-mezopor uglerodlar qog'oz sanoatining qo'shimcha mahsuloti bo'lgan uglerod kraft-lignin

yordamida kolloid kremniy dioksidini shablonlash orqali sintez qilingan. Ushbu uglerodlarning o'ziga xos xususiyati qattiq shablon sifatida ishlatiladigan kolloid kremniy dioksidi eritilgandan so'ng hosil bo'lgan bir xil sharsimon mezoporalar bo'lib, mikroporalar esa CO₂ bilan keyingi faollashtirish orqali yaratilgan. Olingan lignin asosidagi faollashtirilgan uglerodlar yuqori solishtirma sirt maydoniga (2000 m²/g gacha), shuningdek faollashtirish sharoitlarini nazorat qilish va ishlatiladigan kolloid kremniy zarrachalarining miqdori hamda hajmini optimallashtirish orqali oson boshqariladigan mikrog'ovaklik va mezoporozlikka ega edi. Qattiq shablon sifatida o'lchami 20 va 13 nm bo'lgan silika kolloidlari yordamida olingan faollashtirilgan uglerodlarning umumiy g'ovak hajmlari mos ravishda 1 va 2 sm³/g dan oshdi [52.]. Qayta tiklanadigan va funksionallashtirilgan nanoligninidan kompozitlar ishlab chiqarishda bioqo'shimcha sifatida foydalanish butun dunyoda diqqat markazida bo'ldi. Diametri taxminan 138–139 nm bo'lgan ichi bo'sh sharlar ko'rinishidagi lignin nanozarrachalari to'g'ridan-to'g'ri agrosanoat majmuasi chiqindilaridan (palma urug'i qobig'i) hech qanday kimyoviy modifikatsiyasiz, kislotali suvli tizimda qayta ishlangan tetragidrofuran yordamida olingan. Keyinchalik yuqori samarali sorbent sifatida yangi xitozan/nanolignin kompozit materiali ishlab chiqilgan bo'lib, u tabiiy pH sharoitida metilen ko'k (MK) bo'yog'ini samarali olib tashlashi (~83 %) bilan tasdiqlangan. Adsorbsiya jarayoni psevdolikkinchi tartibli kinetikaga bo'ysungan va Langmyur modeli asosida maksimal adsorbsiya sig'imi 74,07 mg/g bo'lgan monoqatlamli adsorbsiya aniqlangan. Bundan tashqari, termodinamik tadqiqotlar sorbsiya jarayonining o'z-o'zidan sodir bo'lishi va endotermik xarakterga ega ekanligini ko'rsatgan. Nanoligninli xitozan kompozitsiyasi mahalliy xitozan va oddiy xitozan/lignin kompozitsiyasiga nisbatan bo'yoqlarni zararsizlantirishda yuqori samaradorlikni namoyon etgan. Bu holat nanoo'lcham effekti va lignin nanozarrachalari tomonidan kiritilgan xususiyatlarning sinergik ta'siri bilan izohlanadi. To'rtta takroriy adsorbsiya/regeneratsiya siklida o'tkazilgan tadqiqotlar kompozitning qayta foydalanish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatdi. Haqiqiy suv namunalarida olib

borilgan tajribalarda esa 89 % gacha tiklanish darajasiga erishilgan. Ushbu tadqiqot asosida yangi tayyorlangan bionanokompozit suv manbalarini tozalash uchun samarali va qayta foydalanish mumkin bo'lgan adsorbsion platforma sifatida tavsiya etilgan [53.]. Og'ir metallarning ifloslanishi ekologik muhit va inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug'diradi. Shu sababli bu zaharli ifloslantiruvchi moddalarni turli murakkab substratlardan samarali olib tashlash muhim ahamiyatga ega. Hozirgi kunga qadar adsorbsiya eng samarali usullardan biri bo'lib qolmoqda. Shu maqsadda og'ir metall ionlarini olib tashlash uchun MOF asosidagi kompozitlarni ishlab chiqish yo'nalishlari ham o'rganilgan. Ushbu sharh sorbentlarga og'ir metall ionlarining adsorbsiya mexanizmlarini o'rganish va oqava suvlardagi ifloslantiruvchi moddalarni samarali olib tashlash uchun yuqori samarali muhit yaratishda yangi ilmiy g'oya bo'lib xizmat qiladi[54.]. Qattiq uglerodga boy qoldiq bo'lgan bioko'mir piroliz yo'li bilan o'rmon va qishloq xo'jaligi chiqindilari, sanoat qo'shimcha mahsulotlari va chiqindilari, shuningdek qattiq maishiy chiqindilar kabi keng tarqalgan xomashyolardan olinadi. Bioko'mir asosidagi sorbentlar tuproq unumdorligini oshirish, qishloq xo'jaligi mahsuldorligini ko'paytirish va issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish bilan bir qatorda, yuqori g'ovaklik, katta sirt maydoni, metallarga yuqori affinitet, sirtni modifikatsiyalash imkoniyati, barqarorligi, qayta ishlanishi va xavfsiz utilizatsiya qilinishi tufayli oqava suvlarni tozalashda keng qo'llaniladi. Ushbu keng qamrovli sharhda so'nggi sintez protokollari, modifikatsiyalar, mexanizmlar, metallarni olib tashlash samaradorligi, termokinetika, regeneratsiya va xavfsiz utilizatsiya usullari tahlil qilingan. Sekin piroliz (300–700 °C, 0,01–2 °C/s), bioko'mirni magnitlash hamda metall oksidlari, ayniqsa temir asosidagi nanoo'lchamli modifikatsiyalar istiqbolli yo'nalishlar sifatida e'tirof etilgan. Ion almashinuvi va elektrostatik o'zaro ta'sirlar metallarni olib tashlashning asosiy mexanizmlari ekani aniqlangan. Tadqiqotlar natijalariga ko'ra, bioko'mir asosidagi sorbentlarning maksimal adsorbsiya sig'imi mos ravishda 1217 (Ag), 560 (Pb), 288 (Cu), 216 (Cd), 204 (As), 130 (Cr), 58 (Ni) va 48 mg/g (Hg) ni tashkil etgan. Kinetik modellar va izotermalarning tabiati material hamda

jarayon sharoitlariga bog‘liq bo‘lsa-da, psevdobirinchi va psevdodikinchi tartibli kinetik modellar hamda Langmyur va Freyndlix izotermalari eng ko‘p qo‘llanilgan. Bioko‘mir asosidagi chiqindilarni utilizatsiya qilish fitoremediatsiyadan tashqari qurilish (sement va g‘isht ishlab chiqarish) hamda elektronika (superkondensatorlar) sanoatida ham qo‘llanish imkoniyatiga ega [55.].

I bob bo'yicha xulosalar.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, zamonaviy sorbentlar – bu turli ifloslantiruvchi moddalarni, xususan, og'ir metall ionlari, organik birikmalar va gazlarni samarali yutish imkoniga ega materiallar bo'lib, ular ekologik tozalash va sanoat jarayonlarida muhim ahamiyatga ega. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, sorbentlarning sorbsion xossalari ularning kimyoviy tarkibi, yuzasi, porozligi, funksional guruhlar mavjudligi va nanostrukturaviy xususiyatlariga bog'liq. Zamonaviy sorbentlar quyidagi xususiyatlar bilan ajralib turadi: yuqori sorbsion qobiliyat, selektivlik, termal va kimyoviy barqarorlik, tez sorbsion kinetika va qayta ishlatilish imkoniyati. Ularning samarali ishlashini ta'minlash uchun turli usullar qo'llaniladi, jumladan: biologik (biokarbon, keratin, chitinsilikatlar), kimyoviy (polimer va kompozit sorbentlar), fizik (nanomateriallar, grafen asosidagi sorbentlar) va kombinatsiyalangan metodlar.

Sorbentlarni ishlab chiqarish jarayoni sanoatda mavjud chiqindilardan foydalanish, yuqori molekulyar birikmalarni polikondensatsiya orqali sintez qilish, yoki nanostrukturaviy modifikatsiya kabi strategiyalarni o'z ichiga oladi. Bu yondashuvlar nafaqat yangi materiallar olish, balki ularni iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali qilish imkonini beradi. Ekologik va sanoat sohalarida sorbentlarning qo'llanilishi keng ko'lamli: suvni va chiqindilarni tozalash, og'ir metall va organik moddalarning selektiv ajratilishi, havoni tozalash, karbonat angidridni yutish va katalitik jarayonlarda ishlatilish. Zamonaviy sorbentlar yordamida chiqindilarni qayta ishlash va atrof-muhitni ifloslanishdan himoya qilish samaradorligi sezilarli darajada oshadi.

II BOB. Termiz shahrida oqova suvlarni sorbsiyalash usuli bilan tozalashni o'rganish va tahlil qilish usullari.

2.1-§. Tadqiqot ob'yektlari va ularning fizik-kimyoviy xossalari

Suyuq shisha—natriy metasilikatning suvdagi eritmasi bo'lib, noorganik birikma hisoblanadi. U natriy va metasilikat kislotasining ishqoriy metall tuzi birikmasidir. Kimyoviy formulasi Na_2SiO_3 . Rangsiz yoki oq kristallar shaklida bo'lib, sovuq suvda eriydi va kristallogidratlar hosil qiladi. Moddaning molyar massasi 122,06 g/mol, zichligi $2,4 \text{ g/sm}^3$ ga teng. Suvda yaxshi eriydi. Nur sindirish ko'rsatkichi 1,52 ga teng.

Silikagel-pH>5–6 sharoitida kremniy kislotalarining o'ta to'yingan eritmalaridan hosil bo'lgan quritilgan geldir. U qattiq gidrofil sorbent sifatida qo'llaniladi. Kimyoviy formulasi SiO_2 . Zichligi 700 kg/m^3 ga teng. Silikagel yuqori g'ovaklikka ega bo'lib, namlikni va turli moddalarni adsorbsiyalash xususiyati bilan ajralib turadi.

Epixlorgidrin (EXG) – organik modda bo'lib, propilen oksidining xlorli hosilasi hisoblanadi. Kimyoviy formulasi $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ (yoki $\text{CH}_2\text{OCH}-\text{CH}_2\text{Cl}$). Qaynash harorati 115–116 °C bo'lib, ikki bosqichli haydash orqali fraksiyalarga ajratiladi va kalsiy gidrid yordamida quritiladi. Epixlorgidrin organik sintezda, epoksid smolalar va glitserin ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Shuningdek, u turli polimer materiallar, ion almashinish smolalari va kompozit materiallar sintezida muhim xomashyo sifatida foydalaniladi.

Formalin — formaldegidning suvdagi eritmasi (37–40 %) bo'lib, tarkibida 6–15 % metanol mavjud (metanol poliformaldegidning polimerlanishini ingibitsiyalaydi). Savdoda uchraydigan ayrim markalar tarkibida esa 40–50 % formaldegid va 1 % metanol bo'ladi. Uzoq muddat saqlanganda eritma xiralashadi va oq rangli paraformaldegid cho'kmasi hosil bo'ladi.

Karbamid— uglerod kislotasining diamidi bo'lgan kimyoviy birikma. Oqartiruvchi kristall modda bo'lib, qutbli erituvchilarda, jumladan suvda (20 °C da 51,8 g/100 g suv), etanol va suyuq ammiakda yaxshi eriydi.

Tiokarbamid— $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$, GOST 6344–73 talablariga mos keladi. “Texnik” markasi “Navoiyazot” AJ tomonidan ishlab chiqariladi. Achchiq ta’mli oq kristall modda bo‘lib, suyuqlanish harorati 180–182 °C, zichligi 1,4 g/sm³ ga teng. Suvda, metanolda, piridinda va piridinining 50 % li suvli eritmasida yaxshi eriydi.

Sulfat kislota—standart sharoitda rangsiz, og‘ir, moysimon suyuqlik bo‘lib, kuchli gigroskopik xususiyatga ega. 10,5 °C da qattiq kristall massaga aylanadi. Suvda yaxshi eriydi. Kuchli noorganik kislota bo‘lib, kimyoviy formulasi H_2SO_4 . Toksik va juda xavfli modda hisoblanadi.

Xlorid kislota (HCl)—GOST 3118–77 (yoki ishlatilayotgan manbaga ko‘ra GOST 4677–67) talablariga mos bo‘lib, vodorod xloridning suvdagi eritmasidir. Kuchli bir asosli kislota hisoblanadi. Rangsiz, tiniq, o‘yuvchi va havoda tutovchi suyuqlikdir. Taxminan 0,5 % konsentratsiyadagi eritmasi inson oshqozon shirasi tarkibida uchraydi va hazm qilish jarayonida ishtirok etadi.

Natriy gidroksid—kuchli asos xossalariga ega bo‘lgan oq rangli qattiq noorganik birikma. Kuchli gigroskopik modda bo‘lib, suvda yaxshi eriydi va bunda katta miqdorda issiqlik ajraladi. Kimyoviy formulasi NaOH . Molekulyar massasi $M = 39,997$ g/mol, zichligi $d^{20}_4 = 2,13$ g/sm³, suyuqlanish harorati 323 °C, qaynash harorati 1403 °C. Modda GOST 55064–2012 talablariga muvofiq keladi.

Monoxlorsirka kislota—sirka kislotasining hosilasi bo‘lib, unda metil guruhidagi bir vodorod atomi xlor atomi bilan almashgan. Rangsiz kristall modda hisoblanadi. Kimyoviy formulasi CH_2ClCOOH . Monoxlorsirka kislota suvda, spirta, asetonda va efirda yaxshi eriydi. Suyuqlanish harorati 61,2 °C, qaynash harorati esa 189,3 °C ga teng. Ushbu modda organik sintezda, turli kimyoviy reagentlar, bo‘yoqlar, farmatsevtik preparatlar va polimer materiallar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

2.2-§.Sintez qilingan moddalarning tuzilishi va aniqlashning tadqiqot usullari

IQ-spektroskopiya–IQ-spektroskopik tadqiqotlar Yaponiyada ishlab chiqarilgan Furiye spektrometri yordamida amalga oshirildi. Tadqiqotlar SHIMADZU infraqizil Furiye spektrometrida (diapazoni $400\text{--}4000\text{ sm}^{-1}$, o'lchash aniqligi 4 sm^{-1}) kukun usulida olib borildi. Olib borilgan tajribalar natijasida hosil bo'lgan yangi moddaning dastlabki moddalarga nisbatan fizik-kimyoviy xossalaridagi farqlar asosida reaksiya amalga oshgan yoki oshmaganligini aniqlash, shuningdek sintez qilingan moddalarning tarkibini o'rganish maqsadida IQ-spektrlar tahlil qilindi. Namunalar 4000 sm^{-1} dan 400 sm^{-1} gacha bo'lgan (to'lqin uzunligi $10^{-6} - 10^{-3}\text{ m}$) diapazondagi IQ-spektrlarni tahlil qilish orqali o'rganildi. Natijada namunalarda mavjud funksional guruhlar va ularning qaysi sinfga mansubligi haqida ma'lumotlar olindi. Olingan yangi moddalarning yutilish chiziqlari xarakteristikalarini [56.] ma'lumotlariga muvofiq aniqlandi.

Skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) – EVO seriyasidagi barcha mikroskoplar o'z konstruksiyasida ilg'or TTL va BeamSleeve texnologiyalaridan foydalanadi, bu esa o'zgarmas bosim (VP) rejimida sifatli tasvir olish imkonini beradi. Katta 5 o'qli stol, standart past vakuum rejimi, ko'plab qo'shimcha jihozlar va qulay SmartSEM dasturiy ta'minoti SEM-EVO MA 10 (Carl Zeiss, Germaniya) qurilmasini zamonaviy materiallarni tahlil qilish uchun samarali vositaga aylantiradi. Ushbu qurilma struktura va sirt nuqsonlarini mikroskopik tahlil qilish hamda moddalarning element tarkibini (EDS – Oxford Instrument) aniqlash uchun mo'ljallangan.

Element tahlili – olingan yarimo'tkazgich bo'yoq moddalarning tarkibi INCA Energy 350 energiodispersiv mikroanaliz tizimi bilan jihozlangan MIRA 2 LMU skanerlovchi elektron mikroskopi ma'lumotlari asosida tahlil qilindi. Ushbu element tahlili usuli dastlabki va sintez qilingan yangi tarkibli moddalarning turli agregat holatlarda, ya'ni suyuq, qattiq va gaz holatlarida bo'lgan materiallarning element tarkibini sifat va miqdor jihatdan aniqlash imkonini beradi.

Termik tahlil – sintez qilingan organogibrid sorbentlarning termik turg'unligi differensial-termik va termogravimetrik usullarda Yaponiyaning SHIMADZU firmasiga mansub DTG-60H qurilmasida o'rganildi. SHIMADZU DTG-60H (bir vaqtning o'zida issiqlik tahlili) TGA hamda TGA-DSC usullarini amalga oshirish imkoniyatiga ega bo'lgan, foydalanish uchun qulay, ishonchli va yuqori samarali termik tahlil platformasidir. Tadqiqotlar 10 grad/min qizdirish tezligida, yuqori galvanometr sezgirligida va derivatogrammalarni elektron grafik ko'rinishda avtomatik yozib olish orqali olib borildi. Massasi 35–46 mg bo'lgan sorbent namunalari diametri 10 mm bo'lgan, 1650 °C haroratga chidamli alyuminiy oksidi va platina tigellarga joylashtirildi. Qizdirishning differensial rejimi atmosfera sharoitida hamda argon muhitida amalga oshirildi. Tahlil davomida sorbentlar 20–1100 °C harorat oralig'ida o'rganildi. Bundan tashqari, sorbentlarning endotermik va ekzotermik nuqtalari ham aniqlandi.

Filtrlash – sintez jarayonida hosil bo'lgan kristall moddalarni ajratib olish uchun filtrlash usulidan foydalanildi.

Nurni sindirish ko'rsatkichi va spektrofotometrik tahlil – rangli eritmalarining konsentratsiyasi sorbsiyadan oldin va sorbsiyadan keyin Yaponiyaning SHIMADZU kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan ikki nurli ultrabinafsha UV-1900i markali spektrofotometr yordamida aniqlandi.

Tahlil qilinayotgan eritmalaridagi elementlar konsentratsiyasi optik analiz usullari yordamida UV-900i spektrofotometrida aniqlandi. Sorbentlarning metall ionlari bo'yicha almashinish sig'imini aniqlashda mis (0,05 n, pH = 3,5–3,8), nikel (0,1 n, pH = 6,5), kobalt (0,1 n, pH = 5,5), rux (0,1 n, pH = 5,5) va kadmiy (0,1 n, pH = 5,5) sulfat eritmalaridan foydalanildi. Barcha o'lchashlar statik sharoitda olib borildi. Dastlabki va muvozanat eritmaları tarkibidagi metall kationlari miqdori trilonometrik titrlash, spektrofotometriya (Fe^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+}) hamda rodanometrik titrlash (Ag^+) usullari yordamida aniqlandi. Eritmalarning sorbentlar bilan o'zaro kontakt vaqti 1 sutkani tashkil etdi, eritmalarining pH qiymati esa potensiomertik usulda o'lchandi.

2.3-§. Termiz shahrining sanoat komunal suvlarini og‘ir metallar va og‘ir ifloslantiruvchi moddalardan sorbsiya usuli bilan tozalash.

Atrof-muhitning ifloslanishi, xususan, sanoat va kommunal oqova suvlar orqali og‘ir metallar (Pb, Cd, Cr(VI), Cu, Zn, Ni) va organik birikmalar chiqarilishi zamonaviy jamiyat uchun eng dolzarb ekologik muammolardan biridir. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma’lumotlariga ko‘ra, og‘ir metallar bilan ifloslangan suv manbalari har yili millionlab odamlarning salomatligiga jiddiy zarar yetkazadi: neyrotoksik ta’sir, saraton kasalliklari, immun tizimi buzilishi, buyrak va jigar yetishmovchiligi kabi kasalliklar ko‘paymoqda. Markaziy Osiyo mintaqasida, xususan, Amudaryo havzasida bu muammo yanada keskinlashgan. Suv resurslarining kamayishi, iqlim o‘zgarishi va antropogen yuklama natijasida daryo suvining mineralizatsiyasi va ifloslanishi kuchaymoqda[57.].Termiz shahri Surxondaryo viloyatining yirik sanoat-transport va aholisi zich joylashgan markazi sifatida bu muammoning epitsentrida turibdi. Shaharda to‘qimachilik, oziq-ovqat sanoati, qurilish materiallari ishlab chiqarish, metallurgiya va galvanika korxonalari faoliyat yuritadi. Ushbu korxonalardan chiqadigan oqova suvlar, shuningdek, kommunal xo‘jalik chiqindilari to‘g‘ridan-to‘g‘ri yoki qisman tozalangan holda Amudaryo daryosiga tushmoqda. CAWater-Info va O‘zgidromet ma’lumotlariga ko‘ra, Amudaryoning Termiz nazorat kesimida suv sifati II sinf (toza) deb baholansa-da, Surxondaryo daryosining quyi oqimida III sinf (o‘rtacha ifloslangan) holat kuzatilmoqda. Og‘ir metallar konsentratsiyasi (masalan, Cr, Ni, Fe, Pb, Cd) ba’zi joylarda milliy va xalqaro me’yorlardan (SanPiN 0293-11 va JSST) 2–10 barobar yuqori bo‘lishi mumkin. Bu holat nafaqat mahalliy aholi salomatligiga, balki butun Amudaryo havzasining ekotizimiga – biologik xilma-xillikning kamayishi, suv o‘simliklari va baliq turlarining nobud bo‘lishi, tuproq sho‘rlanishi kabi salbiy oqibatlarga olib kelmoqda. Oqova suvlarni tozalashning an’anaviy usullari (cho‘ktirish, biologik tozalash, ion almashinuvi) ko‘pincha yuqori energiya sarfi, qimmat uskunalarga bog‘liqlik va ikkilamchi chiqindilar hosil bo‘lishi bilan cheklanadi. Shu bois, so‘nggi yillarda sorbsiya (adsorbsiya) usuli alohida e’tibor

qozonmoqda. Bu usul arzon, ekologik toza, yuqori selektivlikka ega bo'lib, ayniqsa mahalliy tabiiy sorbentlar – bentonit loyi, vermikulit, faol uglerod, qamish va g'oz qoldiqlari asosida samarali ishlaydi. Xalqaro tadqiqotlarda (ScienceDirect, MDPI, 2023–2025) bentonit asosidagi modifikatsiyalangan sorbentlar og'ir metallarni 90–99% gacha olib tashlashi isbotlangan. O'zbekistonda esa bu yo'nalishdagi tadqiqotlar asosan Toshkent va Farg'ona vodiysiga qaratilgan bo'lib, Termiz shahrining iqlimiy-sharoitlari (yuqori harorat, quruq iqlim, mahalliy loy va o'simlik qoldiqlari) va oqova suvlar tarkibiga moslashtirilgan tizimli o'rganishlar yetarli darajada emas. Tadqiqotning asosiy obyekti Termiz shahrining sanoat (to'qimachilik, oziq-ovqat ishlab chiqarish, qurilish materiallari korxonalari) va kommunal xo'jalikdan chiqadigan real oqova suvlari hamda ularni modellashtirish uchun tayyorlangan sintetik eritmalar hisoblanadi. Og'ir metallar (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , $Cr(VI)$) va organik ifloslantiruvchi moddalar (masalan, fenollar, bo'yoqlar) bilan ifloslangan oqova suvlar Amudaryo daryosiga tushib, havzani antropogen yuklamaga duchor qilmoqda. Tadqiqotda quyidagi sorbentlar sinovdan o'tkazildi:

- Surxondaryo viloyatidagi tabiiy bentonit loyi (Kongyrtog konidan olingan, montmorillonit tarkibi yuqori);
- Kislota bilan faollashtirilgan (modifikatsiyalangan) bentonit;
- Vermikulit;
- Qamish (*Phragmites australis*) qoldiqlari (maydalangan va quritilgan);
- Faol uglerod (qiyosiy sorbent sifatida).

Tadqiqot materiallari va asbob-uskunalar. Oqova suv namunalarini olish: Termiz shahridagi tozalash inshootlari chiqish joyidan va korxonalar oqova suv chiqarish nuqtalaridan (2024–2025 yillar monitoring davrida). Analiz usullari:

- Og'ir metallar konsentratsiyasi — atom-absorbsion spektrometriya (AAS, PerkinElmer AAnalyst 400);
- Organik moddalar — COD (kimyoviy kislorod talabi) va UV-spektrofotometriya;
- pH, harorat, o'tkazuvchanlik — portativ o'lchagichlar (Hanna Instruments).

Sorbentlarni tayyorlash:

- Bentonit va vermikulit — maydalash (≤ 0.125 mm), yuvish, $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ da quritish;
- Modifikatsiya — HCl ($0.1\text{--}1$ M) bilan faollashtirish yoki organik modifikatorlar (masalan, CTAB yoki urotropin) bilan ishlov berish;
- Qamish qoldiqlari — $60\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ da quritish, maydalash.

Metodologiya va tajriba shartlari

1. Batch (statik) tajribalar:

1. Sorbent dozasi: $0.5\text{--}5.0$ g/l
2. Kontakt vaqti: $5\text{--}240$ minut
3. Boshlang'ich metall konsentratsiyasi: $10\text{--}200$ mg/l (sintetik eritmalar uchun)
4. pH diapazoni: $2\text{--}9$ (sozlash uchun HCl yoki NaOH)
5. Harorat: $20\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Termiz iqlim sharoitini hisobga olgan holda)
6. Aralashtirish tezligi: $150\text{--}200$ rpm (shakerda)

Sorbsiya quvvati (q_e , mg/g) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$q_e = (C_0 - C_e) \times V / m$$

Samaradorlik (E , %):

$$E = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100$$

Bu yerda: C_0 — boshlang'ich konsentratsiya (mg/l); C_e — muvozanat konsentratsiyasi (mg/l); V — eritma hajmi (l); m — sorbent massasi (g).

2. Column (dinamik) tajribalar

1. Kolonna balandligi: $10\text{--}30$ sm
2. Diametri: $1.5\text{--}2.0$ sm
3. Oqim tezligi: $5\text{--}15$ ml/min
4. Sorbent qatlami: $5\text{--}20$ g
5. Breakthrough curve va exhaustion point aniqlash

Statistik tahlil Barcha tajribalar uch marta takrorlangan. Natijalar o‘rtacha qiymat $\pm$ standart og‘ish sifatida berilgan. Regressiya tahlili va korrelyatsiya koeffitsienti (R^2) SPSS yoki OriginPro dasturlari yordamida hisoblangan.

Standartlar va solishtirish Olingan natijalar O‘zbekiston Respublikasi SanPiN 0293-11 (suv havzalariga chiqarish me‘yorlari), JSST (drinking water guidelines, 2021) va UNEP tavsiyalari bilan solishtiriladi.

Ushbu metodologiya xalqaro tadqiqotlarda (masalan, bentonit va vermikulit bo‘yicha batch va column tajribalari) qo‘llanilgan standart yondashuvlarga asoslangan bo‘lib, Termiz shahrining mahalliy sharoitlariga (yuqori harorat, quruq iqlim, mavjud tabiiy resurslar) moslashtirilgan.

Tadqiqot natijalari laboratoriya sharoitida o‘tkazilgan batch va column tajribalari asosida umumlashtirildi. Quyida asosiy natijalar jadval, grafik va diagrammalar shaklida keltirilgan. Barcha qiymatlar uch marta takrorlangan tajribalarning o‘rtacha qiymati $\pm$ standart og‘ish sifatida berilgan.(2.1-jadval)

Turli sorbentlarning og‘ir metallarni olib tashlash samaradorligi (Shartlar: pH = 6.0 ± 0.2 , sorbent dozasi = 2 g/l, kontakt vaqti = 120 min, boshlang‘ich konsentratsiya = 50 mg/l, harorat = 25 °C)

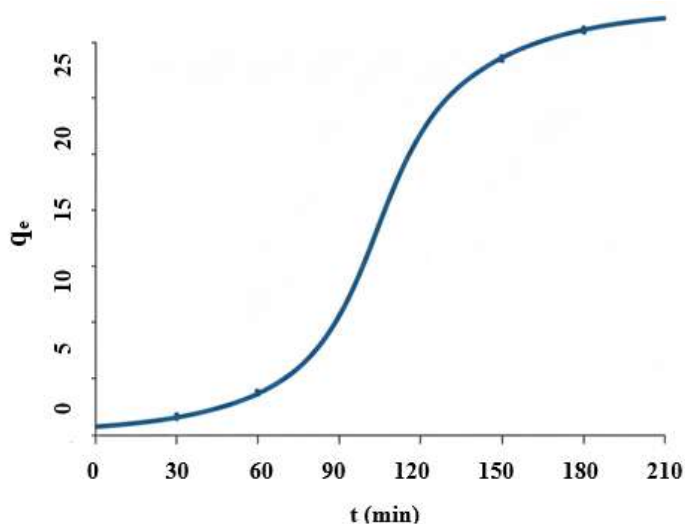
2.1-jadval

Sorbent turi	Pb (%)	Cd (%)	Cu (%)	Zn (%)	Cr(VI) (%)
Tabiiy bentonit (Kongyrtog)	78.4 ± 2.1	65.2 ± 3.4	82.1 ± 1.8	71.5 ± 2.6	59.3 ± 4.1
HCl bilan modifikatsiyalangan bentonit	96.8 ± 1.2	89.7 ± 1.9	97.2 ± 0.9	92.4 ± 1.5	84.6 ± 2.3
Vermikulit (kengaytirilgan)	85.6 ± 1.7	79.3 ± 2.2	88.4 ± 1.4	81.7 ± 2.0	76.8 ± 3.0

Qamish qoldiqlari (maydalangan)	68.9 ± 3.5	54.6 ± 4.1	75.2 ± 2.8	62.7 ± 3.3	48.4 ± 4.7
Faol uglerod (qiyosiy)	91.5 ± 1.3	87.3 ± 1.6	93.8 ± 1.1	88.9 ± 1.4	90.1 ± 1.8

Izoh: Modifikatsiyalangan bentonit barcha metallar bo'yicha eng yuqori samaradorlikni ko'rsatdi, ayniqsa Pb va Cu uchun deyarli to'liq olib tashlashga erishildi.

Kontakt vaqti ta'siri (kinetika grafigi)



2.1.-rasm. Grafik tavsifi: Pb uchun sorbsiya kinetikasi (modifikatsiyalangan bentonit)

(Shartlar: $C_0 = 50$ mg/l, dozasi = 2 g/l, pH = 6.0) Tasviriy tavsif (vaqt o'tishi bilan q_e o'sishi):

- Dastlabki 30 minut ichida sorbsiya tez kechadi (~70–75% Pb olib tashlanadi)
- 90–120 minutdan keyin muvozanatga yaqinlashadi
- Pseudo-ikkinchi tartib modeli eng yaxshi mos keladi ($R^2 = 0.989$)

2.2-jadval

<u>Model</u>	<u>k_1 (min^{-1}) yoki k_2 (g/mg·min)</u>	<u>$q_{e, \text{calc}}$ (mg/g)</u>	<u>R^2</u>
<u>Pseudo-1 tartib</u>	<u>0.028 ± 0.003</u>	<u>41.3 ± 1.2</u>	<u>0.912</u>
<u>Pseudo-2 tartib</u>	<u>0.0018 ± 0.0002</u>	<u>52.6 ± 0.8</u>	<u>0.989</u>

Kinetika modellari parametrlari (Pb uchun modifikatsiyalangan bentonit)

2.3-jadval

Langmuir va Freundlich izotermalari parametrlari (Cu uchun, modifikatsiyalangan bentonit)

Model	Parametrlar	Qiymat	R ²
Langmuir	$q_{\max}$ (mg/g)	48.2 ± 1.4	0.993
	b (L/mg)	0.215 ± 0.018	
Freundlich	$K_F ((\text{mg/g})(\text{L/mg})^{(1/n)})$	12.4 ± 0.9	0.947
	1/n	0.38 ± 0.03	

- Modifikatsiyalangan bentonit eng samarali sorbent bo'lib, Pb va Cu uchun 95–97% samaradorlikni ta'minlaydi.
- Jarayon kimyoviy sorbsiya mexanizmi bilan boshqariladi (pseudo-2 tartib, Langmuir modeli).
- Optimal shartlar: pH 5.5–6.5, kontakt vaqti 90–120 min, dozasi 1.5–2.5 g/l.

2.4-§. Termiz shahrida oqova suvlari tozalashning an'anaviy usullari.

Termiz shahrida katta sanoat korxonalari yo'qligi tufayli oqova suvlarning asosiy qismini maishiy chiqindi oqova suvlari tashkil qiladi.



2.1-rasm. Termiz shaxri kanalizatsiya tarmogi sxemasi

Termiz oqova suvlarini tozalash inshooti 1979-yilda foydalanishga topshirilib 1986-yilda to'liq ishga tushirilishga tayyor holatga kelgan. Inshootning umumiy maydoni 9,3 gektarni tashkil qiladi. Sig'imi to'liq quvvat bilan ishlaganda sutkasiga 35 ming m³ suvni qabul qilishga mo'ljallangan. Hozirgi kunda sutkasiga Termiz shahridan o'rtacha 20,7 ming m³ oqova suvlari oqib kelmoqda. Inshootda 2 ta yirik tindirgichlar mavjud bo'lib, birinchisi 10 000 m³/sut sig'imli, ikkinchisi 25 000 m³/sut. Inshoot oxirgi martta 2014 -yilda Koreyalik mutaxassislar tomonidan ta'mirdan chiqarilgan. Umuman olganda oqova suvlarni tozalash inshootlari har 6-7 yilda qayta ta'mirlanishi lozim. Hozirgi kunda inshootning 25 000 m³/sut sig'imli tindirish qismi ta'mirtalab bo'lganligi bois ishlamasdan turibdi. Inshoot asosan oqova suvlarni mexanik va kimyoviy tozalashga mo'ljallanib qurilgan. Inshootdan tozalanib chiqqan suvlar 12 km masofaga cho'zilgan qamishzorlar orqali tabiiy tozalanib Amudaryoga oqiziladi. Tashkilot mas'ullari ma'lumotiga ko'ra inshootda oqova suvlar 70% tozalanib chiqib ketadi. Inshoot suv qabul qilish bo'limi, nasos stansiyasi, peskolovka bo'limi, qumtutgich



2.2-rasm. Termiz shaxri kanalizatsiyalashgan oqova suvlarni tozalash inshooti va tindirgichlar, cho'kma(ill) saqlash hovuzlari, xlorlash bo'limi va boshqa qisimlardan iborat (4-rasm).

Termiz shahridan hosil bo`lgan oqova suvlar dastlab 2 ta katta hajmli trubalar orqali tozalash inshootiga yetib keladi u yerdan qabul qilish bo`limi orqali nasos stansiyasiga o`tadi .



2.3-rasm. Oqova suvlarni dastlabki yirik chiqindilardan tozalash havzasi

Tozalashning birinchi bosqichida metall to`r orqali hajmi katta bo`lgan iflosliklar ushlab qolinadi.. Bu ushlab qolishning yana bir ahamiyati nasoslarning ish faoliyatiga katta hajmdagi chiqindilar halal berishi mumkin. Nasos stansiyasida chiqindi suvlar 4 ta nasos orqali peskolovka bo`limiga yuboriladi Navbatdagi bosqichda suv tarkibidagi dag`al dispers iflosliklar Qumtutgichlar yordamida ushlab qolinadi .



2.4-rasm. Dastlabki tozalangan oqovalarni tindirish havzalariga chiqarib beruvchi nasoslar.



2.5-rasm. Gorizontaal tindirgich

Oqova suvlar qumtutgichlardan o'tgandan so'ng gorizontaal tindirgichlarga yuboriladi. Tindirgichlar inshootda 2 ta bo'lib faqat bittasi ishlab turibdi. Ikkinchi

tindirgich ancha ta'mirtalab ahvolga kelib qolganligi bois ishlamasdan turibdi. Tindirgichning ish samaradorligi 60% ni tashkil qiladi



2.6-rasm. Suv tindirish havzasi (10000 m³/sut)

Tindirgichlarda hosil bo'lgan cho'kmalar maxsus nasoslar orqali cho'kindilar uchun mahsus hovuzlarga tashlanadi. Maxsus quritilgan cho'kmalar qishloq ho'jaligi uchun tabiiy o'git sifatida ham ishlatiladi. Inshootda 3 ta ba'zi texnik nosozliklar sababli ishlamay turgan radial tindirgichlar mavjud. Radial tindirgichlar yumaloq rezervuarlardir. Ularda suv markazdan periferiyaga tomon xarakatlanadi. Bunday tindirgichlar oqova suv sarfi 20000 m³/sut bo'lganda qo'llanadi. Cho'ktirish samaradorligi 60%. Cho'ktirish samaradorligini koagulyant va flokulyant zarrachalari o'lchamini yiriklashtirib yoki oqova suvni qizdirib qovushoqligini kamaytirish yo'li bilan oshirish mumkin.



2.7-rasm. III (choʻkma) yigʻish havzasi

Tindirgich orqali tindirilgan oqova suvlar keyingi bosqich xlorlash boʻlimiga yuboriladi. Hozirgi kunda inshootning taminotchilarda boʻlayotgan uzilishlar sabab xlorlash bazan amalga oshirilmayapti. Albatta taʼminotchiga koʻp narsa bogʻliq ammo xlorlanmaganligi sababli oqova suvlar tarkibidagi koʻplab zararli mikroorganizmlar zararsizlantirilmasdan turib tabiiy suv zahiralariga chiqarib yuborilmoqda. Tozalash bosqichlaridan tozalanib oʻtilgandan soʻng oqova suvlar 12 km lik qamishzorlar orqali tabiiy tozalanib Amudaryoga oqiziladi. Tashkilot masʼullarining aytishicha inshootdan chiqayotga oqova suvlar 70-75% tozalanib chiqmoqda. Oqova suvlarni tozalashning ahamiyati shundaki, suv tarkibidagi zararli moddalar zararsizlantirilmasa Amudaryodagi ekotizmga jiddiy zarar yetkazishi mumkin. Bundan tashqari zararli bakteriyalar viruslar zararsizlantirilmasa turli yuqumli kasalliklar tarqalishiga olib kelishi mumkin.

II bob bo'yicha xulosalar.

Ushbu bobda. Termiz shahrining sanoat komunal oqova suvlarini og'ir metallardan tozalashda sorbsiya usuli yuqori samaradorligini isbotladi. Mahalliy tabiiy xomashyoda tayyorlangan HCl bilan modifikatsiyalangan bentonit sorbentidan foydalanish mumkinligi aniqlandi. Oqova suvlar tozalash jarayonlaridan o'tgandan so'ng asosan tabiiy suv manbaalariga (asosan daryolarga) oqizilishini inobatga oladigan bo'lsak ba'zi shaharlarni asosiy ichimlik suvi manbayi daryo suvlarini tashkil qiladi. Ochiqroq aytadigan bo'lsak hozirda hech bir usul mavjud emaski kam harajat bilan yuqori tozalash ya'ni istemolga yaroqli holatga keltirishning deyarli iloji yo'qdir.

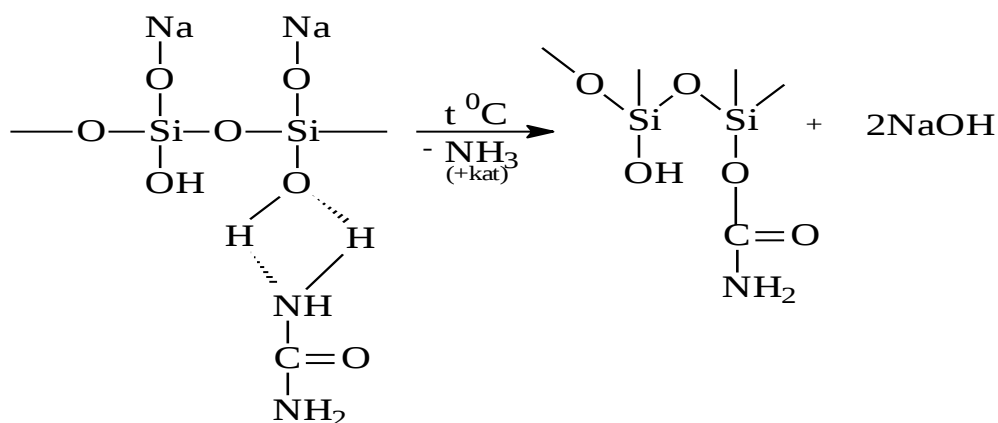
Termiz shaxar oqova suv tozalash inshootining samaradorligi 50-55% ni tashkil etib, sinov laboratoriyalarning so'nggi kimyoviy tahlillariga asosan, oqovadagi muallaq moddalar belgilangan me'yordan 1,5 barobar, azotli nitrit esa qariyb 2 barobar ortiq me'yorda oqizilayotganligi ma'lum bo'ldi.

III BOB. ANTROPOGEN TA'SIR NATIJASIDA HOSIL BO'LGAN TERMIZ OQOVA SUVINING FIZIK KIMYOVIY TARKIBI VA TAHLILI

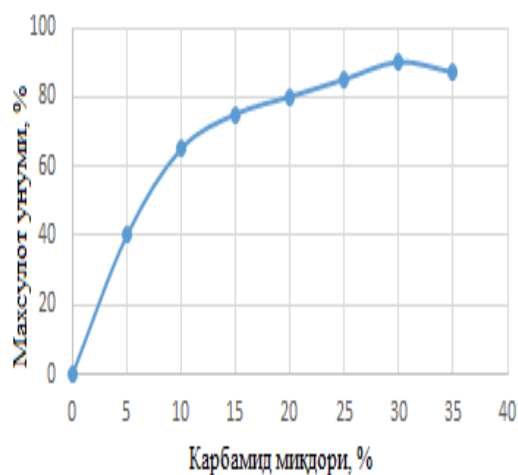
3.1-§. Metasilikat natriy bilan karbamid asosida olingan organogibrid sorbent sintezi hamda uning sorbsion xossalari o'rganish.

Yurtimizda hozirgi davrda kimyo sanoati jadal suratlar bilan rivojlanib bormoqda hamda turli xil organik va noorganik moddalar sintez qilish va uni sanoat sohasiga tadbiq qilish bo'yicha keng qamrovli ilmiy ishlar amalga oshirib kelmoqda.

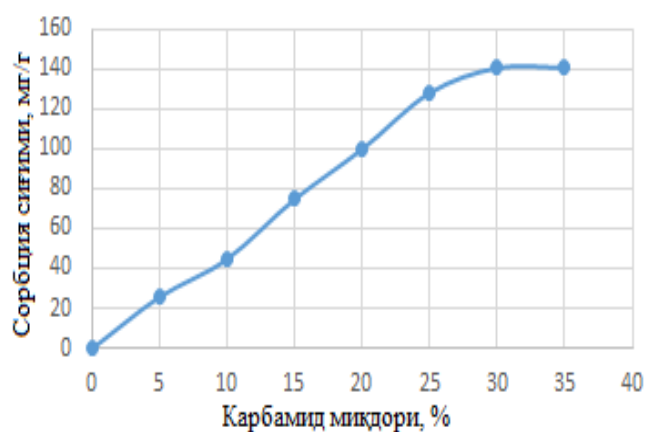
Metasilikat natriy va karbamidning o'zaro reaksiyasi uchun dastlab, reagentlar ikki xil massa nisbatda olinadi. Yani 15/85, 30/70 karbamid/metasilikat natriy eritmasi olinib, dastlab karbamid xavonchada maydalab ezildi, maydalangan karbamid metasilikat eritmasi bilan aralashtirgich yordamida daqiqasiga 120 marta aylanish tezligida aralashtirildi. Aralashtirish davomiyligi 10 daqiqadan 30 daqiqagacha olib borildi aralashtirish davomiyligi karbamidning to'la erib ketishi va gel hosil bo'lishiga bog'liq. Karbamidni metasilikat natriy eritmasida erib ketishi hamda ikkala moddalarning o'zaro ta'sirlashuvini oshirish maqsadida ,reaksion massa 40-50°C haroratda ushlab turilib, to'xtovsiz aralashtirib turildi. Reaksion massaga karbamidga nisbatan 0,2% miqdorda katalizator solinadi. Metasilikat natriy va karbamidni o'zaro ta'sirlashuvi natijasida 10-20 daqiqa oralig'ida gel hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan massa 1 sutka davomida qoldiriladi ,bir sutkadan so'ng massa sinuvchan mo'rt holatga kep qoladi va u yaxshilab maydalanadi va mahsus sharoitlarda ishlov beriladi. Termik ishlov berish natijasida quyidagi mexanizm asosida jarayon amalga oshadi.



Yaxshilab maydalab olingan massa distillangan suvda yaxshilab yuvildi va yana quritildi. Jarayon har ikki tarkib uchun bir xil olib borilgan, metasilikat natriy eritmasi xar ikki tarkibda ham bir xil konsentratsiyada foydalanilgan. Olingan mahsulot oq rangli kukun ko'rinishga ega bo'lib o'zining guruhlari hisobiga og'ir va noyob metallarni turli konsentratsiyalari eritmalaridan sorbsiyalash va turli tarkiblarni modifikatsiyalash xossasiga ega. Xosil bo'lgan mahsulot mahsulot va dastlabki mahsulotlar IQ- spektrlari olinib o'zaro solishtirilib tahlil qilindi.



3.1-rasm. Reagentlar nisbatining mahsulot unumiga ta'siri



3.2-rasm. Reagentlar nisbatining sorbsion sig'imiga ta'siri, (Cu⁺⁺ ionlari uchun)

Karbamid va metasilikat natriy asosida olingan sorbentning fizik kimyoviy xossalriga dastlabki reagentlarning o'zaro turli nisbatlarda reaksiya jarayonlari olib borildi. 3.1-rasmda reagentlar nisbatining mahsulot unumiga ta'siri grafigi keltirilgan. 3.2-rasmda esa reagentlar nisbatining mahsulotning Cu⁺⁺ ionlari uchun sorbsiya sig'imiga ta'siri grafigi keltirilgan.

Sorbent sintezi uchun olingan dastlabki reagentlarning o'zaro nisbatlari Sorbent sintezi uchun olingan dastlabki reagentlarning o'zaro nisbatlari mahsulot unumiga ta'sir qilishi kuzatildi. Unga ko'ra, 3.1-rasmda keltirilgan grafikdan ko'rinadiki, eng yuqori unum dastlabki reagentlarning umumiy massasiga nisbatan karbamid miqdori 30% bo'lganda erishiladi. Karbamid miqdori 30% dan oshganda

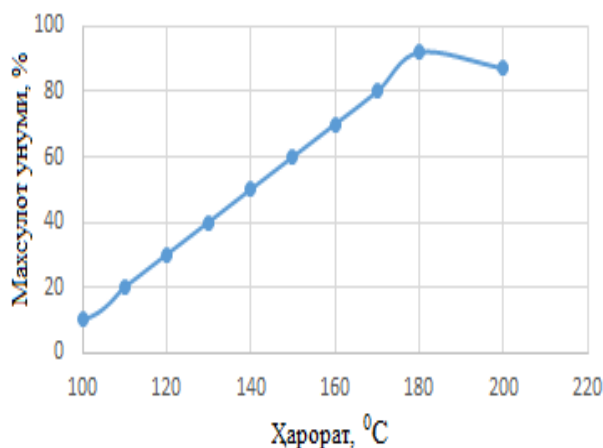
reaksiya unumi biroz pasayishi kuzatiladi. Karbamid miqdorini 30% gacha oshirish jarayonida esa uning miqdoriga proporsional ravishda reaksiya unumining ortishi kuzatiladi.

Dastlabki reagentlar miqdorining Cu^{2+} ioni uchun sorbsiya sig'imiga ta'siri tahlil qilinib, 3.2-rasmda keltirilgan natijalar olindi. Unga ko'ra, karbamid miqdori 30% qo'shilganda mahsulotning sorbsiya sig'imi eng yuqori ko'rsatkichni namoyon qilib, 140,8 mg/g ni tashkil etadi. Karbamid miqdorining 30% dan ortishi sorbsiya sig'imiga ijobiy ta'sir etmaydi. Karbamid miqdorining kamayishi esa sorbsiya sig'imining kamayishiga olib keladi.

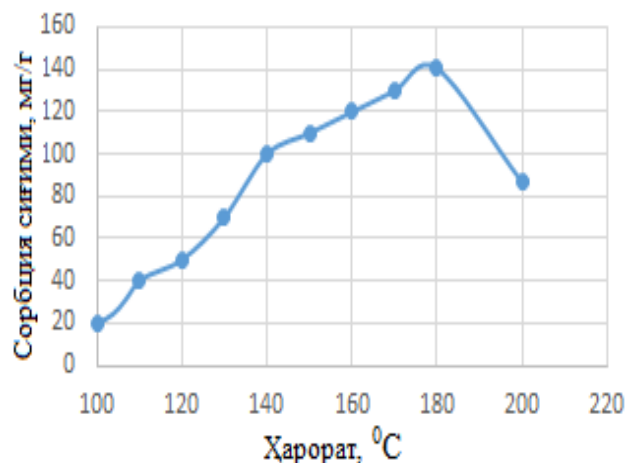
Bunga sabab sifatida 3.3-rasmda keltirilgan karbamid va natriy metasilikat asosida olingan mahsulotning IQ-spektri (30/70) da ko'rsatilgan sorbentning funksional guruhlaridagi o'zgarishlarni izohlash mumkin.

Reaksiya jarayonida olingan gel quritilib, termik ishlov beriladi. Bunga sabab vodorod bog'lari orqali bog'langan karbamidning amid guruhlari bilan polisilikatning gidroksil guruhlari orasidagi bog'larni mustahkamlashdir. Chunki vodorod bog'lari yetarlicha mustahkam bo'lmaganligi sababli sorbentning suvda eruvchanligini oshirib yuborishi va sorbsiya jarayonining samarali amalga oshmasligiga olib kelishi mumkin.

Shu sababli sintez jarayonida 180 °C haroratda termik ishlov beriladi va bu jarayon haroratni asta-sekin oshirish orqali amalga oshiriladi. Termik ishlov berish haroratining reaksiya mahsuloti unumi (3.3-rasmda keltirilgan) hamda Cu^{2+} ioni uchun sorbsiya sig'imiga (3.4-rasmda keltirilgan) ta'siri o'rganildi.



3.3-rasm. Reaksiya haroratining mahsulot unumiga ta'siri

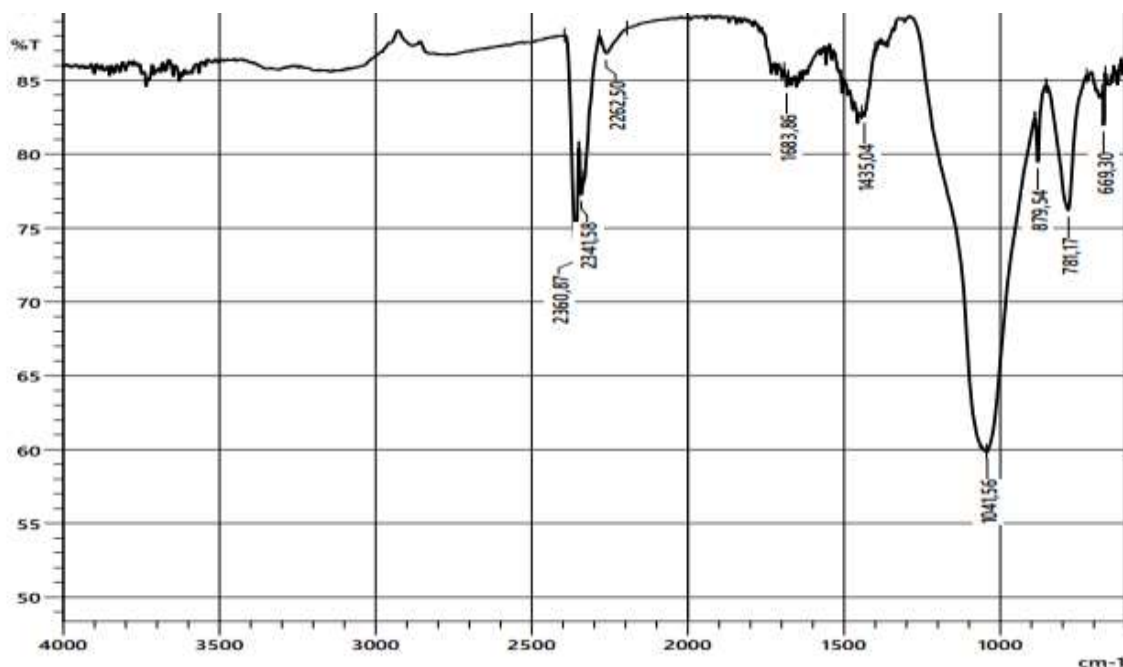


3.4-rasm. Reaksiya haroratining mahsulotning sorbsion sig'imiga ta'siri (Cu^{2+} ioni uchun)

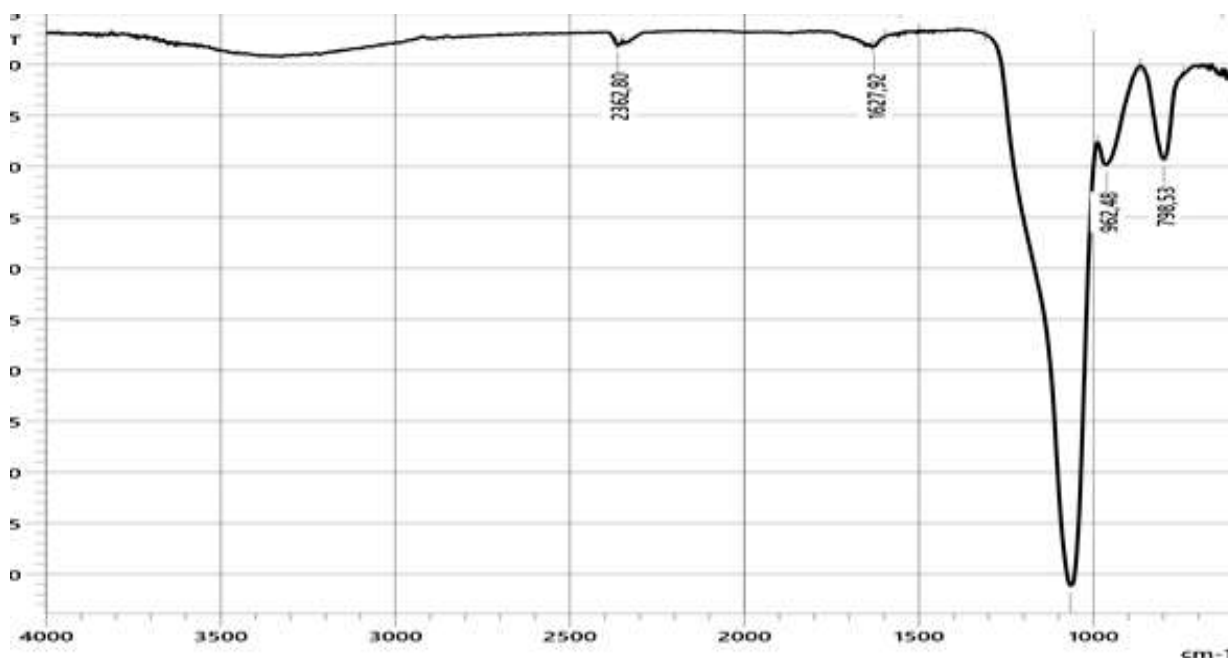
Termik ishlov berish harorati karbamid va suyuq shisha asosida olingan mahsulot unumiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. 3.3-rasmda karbamid va suyuq shishaning 30/70 massa nisbatdagi reaksiyasida termik ishlov berish haroratining mahsulot unumiga ta'siri keltirilgan. Natijalarga ko'ra, eng yuqori unum 180 °C haroratda ishlov berilganda kuzatiladi.

Agar termik ishlov berish harorati 180 °C dan oshib ketsa, mahsulot tarkibidagi amin guruhlarining parchalanishi va ammiak ajralishi kuchayadi, bu esa reaksiya unumiga salbiy ta'sir ko'rsatadi [58.]. Aksincha, termik ishlov berish harorati optimal qiymatdan past bo'lsa, modifikatsiya jarayoni to'liq yakunlanmaydi va natijada unum kamayadi. Shu bilan birga, haroratning yetarli darajada bo'lmashligi sorbentning sorbsiya sig'imining pasayishiga olib keladi. Bu holatni 3.4-rasmda keltirilgan grafik orqali ham ko'rish mumkin. Grafik natijalariga ko'ra, 180 °C haroratda ishlov berish natijasida olingan sorbent eng yuqori sorbsiya sig'imini namoyon qilib, 140,8 mg/g ni tashkil etadi. Haroratning optimal qiymatdan oshishi sorbentning sorbsiya sig'imiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, past harorat esa reaksiya jarayonining to'liq amalga oshmasligi tufayli sorbsiya sig'imining kamayishiga olib keladi. Shuningdek, karbamid va natriy metasilikat asosida olingan sorbentning nikel ioni bilan hosil qilgan kompleksining IQ-spektr tahlili amalga oshirildi va u

dastlabki sorbentning IQ-spektri bilan taqqoslandi. Karbamid va natriy metasilikat asosida olingan sorbent hamda uning nikel ioni bilan hosil qilgan kompleksi mos ravishda 3.5 va 3.6-rasmlarda keltirilgan.



3.5-rasm. Karbamid va natriy metasilikat asosida olingan sorbentning IQ-spektri



3.6-rasm. Olingan sorbentning nikel ioni bilan hosil qilgan kompleksining IK-spektri.

Sintez qilingan sorbentning nikel ioni bilan hosil qilgan kompleksining IQ-spektri 2-rasmda keltirilgan. Unga ko'ra, IQ-spektrning yuqori chastotali qismida – NH_2 guruhining assimetrik va simmetrik valent tebranishlari natijasida yuzaga kelgan polosalar 2800 sm^{-1} va $2343,51 \text{ sm}^{-1}$ dan $2362,80 \text{ sm}^{-1}$ ga siljiganligi kuzatiladi.

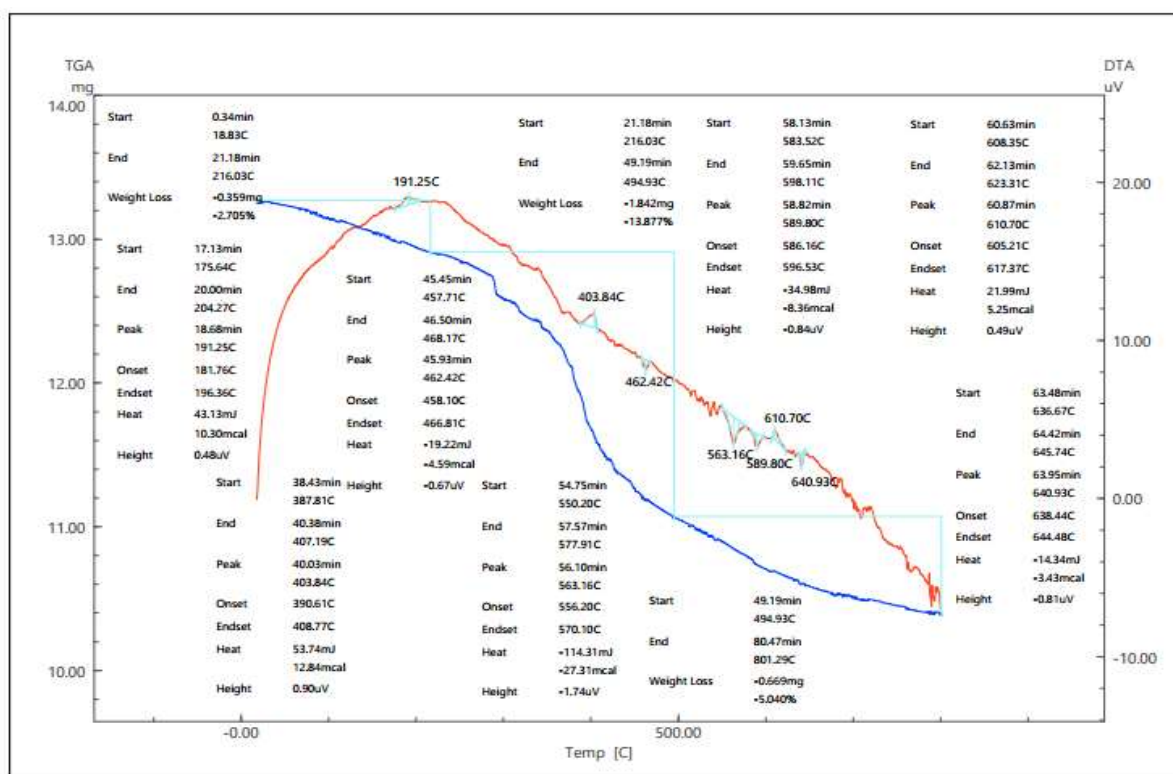
Shu bilan birga, C=O guruhining valent tebranishiga mos keluvchi asosiy chastota taxminan $1683,86 \text{ sm}^{-1}$ dan $1627,92 \text{ sm}^{-1}$ ga kamayganligi aniqlanadi. 1010 sm^{-1} sohada Si-O-Si guruhiga tegishli valent tebranishning yuqori intensivligi namoyon bo'ladi. NH_2 guruhi esa $798,53 \text{ sm}^{-1}$ da yutilish cho'qqisini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, polisilikatning kislorodi va nikel hamda karbamidning uglerodi bilan bog'liq bo'lgan C-O guruhiga mos keluvchi $962,48 \text{ sm}^{-1}$ sohada to'lqin yutilishi kuzatiladi.

Metasilikat natriy va karbamid asosida olingan kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbentning termik tahlili amalga oshirildi.

Tajribani dastlab, stakanga avvaldan tortib olingan karbamid va natriy metasilikat eritmasi solinib, yaxshilab aralashtirildi. Natriy metasilikat eritmasida karbamid to'laligicha erib ketgandan so'ng, reaksiyon massa asta-sekin gellanib boshlaydi va to'laligicha gel holiga o'tadi. Hosil bo'lgan gel xona haroratida bir sutka davomida saqlanadi, natijada hosil bo'lgan gel mo'rtlashib, sinuvchan holga keladi. Hosil qilingan massa maydalanadi va termik ishlov beriladi. Ishlov berish natijasida reaksiyon massadan ammiak gazi ajraladi va silikat kislotaning polimer zanjiriga karbamid bog'lanadi. Termik ishlov berish natijasida mikro va makrog'ovaklarga ega bo'lgan massa hosil bo'ladi. Hosil qilingan massa distillangan suv bilan yaxshilab yuviladi va quritiladi.

Tarkibida kremniy tutgan kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbentning tahlili uchun $13,274 \text{ mg}$ namuna olinib, jarayon $800 \text{ }^\circ\text{C}$ gacha bo'lgan harorat oralig'ida o'rganildi. Organomineral sorbentning termogravimetrik analiz (TGA) va differensial termik tahlil (DTA) natijalari 3.7-rasmda keltirilgan.



3.7-rasm. Organogibrid sorbentning (TGA) va differensial termik tahlil (DTA)dermotogrammasi.

Organogibrid sorbentning differensial termik tahlili amalga oshirilib, 3.7-rasmda keltirilgan va unga asosan, organomineral sorbentning termogravimetrik egri chizig‘i 2 ta egri chiziqdan iborat bo‘lib, uning tahlili shuni ko‘rsatadiki, TGA egri chizig‘ida asosan 3 ta intensiv massa yo‘qotiladigan harorat oralig‘i kuzatiladi [59.]. 1-massa yo‘qotiladigan oraliq 175,64–204,27 °C haroratga, 2-massa yo‘qotiladigan oraliq 216,03–494,93 °C haroratga, 3-massa yo‘qotiladigan oraliq esa 494,93–801,29 °C haroratga mos keladi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, 1-massa yo‘qotiladigan oraliqda massa yo‘qotilishi 0,359 mg, ya’ni 2,705 % kuzatilgan bo‘lsa, 2-massa yo‘qotiladigan oraliqda intensiv parchalanish jarayoni sodir bo‘ladi. Bu oraliqda massa yo‘qotilishining asosiy miqdori 1,842 mg, ya’ni 13,877 % ni tashkil etadi. 3-massa yo‘qotiladigan oraliqda massa yo‘qotilishi 0,669 mg, ya’ni 5,040 % ni tashkil etadi.

Bundan ko‘rinadiki, birinchi massa yo‘qotilishi bosqichida ortiqcha namlik va sorbent tarkibida havodan sorbsiyalangan suvning yo‘qotilishi ro‘y beradi. Ikkinchi

asosiy parchalanish bosqichida sorbent tarkibidagi aminoguruhlar va boshqa funksional guruhlarining parchalanishi hisobiga ammiak hamda vodorod sulfidi ajralib chiqqan boshlaydi. Uchinchi parchalanish bosqichida sorbent tarkibidagi kremniy bilan bogʻlangan gidroksil guruhlarining parchalanishi natijasida massa yoʻqotilish jarayoni amalga oshadi.

Organomineral sorbentning differensial termik tahlili egri chiziqlaridan koʻrish mumkinki, 191,25 °C, 403,84 °C va 610,70 °C haroratlarda 3 ta ekzotermik, shuningdek, 462,42 °C, 523,58 °C, 563,16 °C, 589,80 °C va 640,93 °C haroratlarda 5 ta endotermik jarayon effekti kuzatilgan. Shunga asoslanib, yuqorida keltirilgan massa yoʻqotilishlari namlik va turli funksional guruhlarining parchalanishi natijasida yuzaga kelganligini hamda bu holat sorbent sintezi jarayonida dastlabki reagentlarning qayta guruhlanishi sodir boʻlganligini koʻrsatadi, degan xulosaga kelish mumkin.

Turli haroratlarda moddaning termik parchalanish natijalarining tahlili 3.1-jadvalda berilgan.

3.1-jadval.

Sintez qilingan organogibrid sorbentning TGA va DTA egri chizigʻI natijalari tahlili

№	Harorat, °C	Yoʻqotilgan massa, mg(13,274)	Yoʻqotilgan massa, %	Sraflangan energiya(μV^* s/mg)	Sarflangan vaqt (minut)	dw (mg)	dw/dt (mg/minut)
1	100	0,144	1,096	15,68	9,466	13,13	0,015
2	200	0,334	2,516	18,89	19,56	12,94	0,017
3	300	0,694	5,22	15,97	29,61	12,58	0,023
4	400	1,597	12,03	11,57	39,66	11,67	0,040
5	500	2,226	16,76	7,324	49,71	7,324	0,044
6	600	2,573	19,38	3,837	59,85	10,70	0,043
7	700	2,778	20,92	-0,201	69,98	10,49	0,039
8	800	2,894	21,77	-7,021	80,38	10,38	0,036

Jadvaldan koʻrinib turibdiki, asosiy parchalanish jarayoni 200–500 °C oraligʻida roʻy beradi [67; 51–57-bet]. Harorat 200 °C dan 300 °C oraligʻida dastlabki massa yoʻqotishlari kuzatilib, 200 °C haroratda bitta endoeffekt namoyon

bo‘ladi va 2,7 % massa yo‘qotiladi. Harorat 300 °C dan 400 °C oralig‘ida esa 6,81 % massa yo‘qotilib, parchalanish uchun sarflanadigan energiya miqdori kamayib boradi.

Shunday qilib, sintez qilingan sorbentning termik tahlili natijalariga ko‘ra, 175,64–204,27 °C harorat oralig‘ida ortiqcha namlik hamda sorbent tarkibida havodan sorbsiyalangan suvning yo‘qotilishi (0,359 mg, ya‘ni 2,705 %) kuzatiladi. 216,03–494,93 °C harorat oralig‘ida sorbent tarkibidagi aminoguruhlarning parchalanishi sodir bo‘lib, bunda massa yo‘qotilishi 1,842 mg (13,877 %) ni tashkil etadi. 494,93–801,29 °C harorat oralig‘ida esa sorbent tarkibidagi kremniy bilan bog‘langan gidroksil guruhlarning parchalanishi amalga oshadi va bu jarayonda 0,669 mg (5,040 %) massa yo‘qotiladi.

Olingan natijalar sintez qilingan organogibrid sorbentning yuqori termik barqarorlikka ega ekanligini ko‘rsatadi. Mazkur sorbent yuqori haroratli eritmalarda o‘zining turg‘unlik holatini saqlab qoladi hamda yuqori haroratli muhitlardan metall ionlarini konsentrlash va sorbsiyalash jarayonlarida samarali qo‘llash imkonini beradi.

3.2-§. Vaqtning natriy metasilikat bilan karbamid asosidagi organogibrid sorbentini sorbsiya jarayoniga bog‘liqligini o‘rganish

Tarkibida kremniy tutgan mineral adsorbentlarni olish usullari turli guruhlarga bo‘linadi. Tarkibida kremniy tutgan minerallarning past sorbsion xususiyatlari ularni sorbent sifatida bevosita qo‘llashga imkon bermaydi. Shu munosabat bilan mavjud reagentlardan foydalangan holda turli xil modifikatsiyalash usullari yoki organik asosda kremniyli sorbentlarni sintez qilish orqali tabiiy materiallarning sorbsion xususiyatlarini oshirish masalasi muhim ahamiyatga ega.

Ishning asosiy vazifasi oqova suvlarni mis ionlaridan tozalash uchun karbamid va natriy silikat asosida yangi sorbent yaratishdan iborat.

Ushbu tadqiqotda katalizator ishtirokida karbamid va natriy silikat asosida sorbent sintezi amalga oshirildi. Natriy silikat o‘rniga silikat moduli 2,7 bo‘lgan

natriy suyuq shisha ishlatildi. Modifikatsiya jarayonida suyuq shishaga karbamid qo'shib, aralashtirish 20–30 °C haroratda olib borildi. Bu esa kompozitsiyaning bir jinsli bo'lishini va tez shakllanishini ta'minlaydi. Aralashtirish oxirida karbamidning suyuq shishadagi bir jinsli eritmasi hosil qilindi.

20 °C dan past haroratda modifikatsiya jarayoni sezilarli darajada sekinlashadi, 30 °C dan yuqori haroratda esa suyuq shishada erimaydigan zarrachalar hosil bo'lib, modifikatsiya notekis kechadi. Keyinchalik harorat 90 °C ga oshirildi. Ushbu haroratda suv ajralib chiqadi va modifikatsiya jarayoni karbamidning amid guruhlari bilan silikatning gidroksil guruhlari o'rtasida amalga oshadi. Suyuq shishaning og'irligiga nisbatan 1% miqdorda katalizator harorat oshirilishidan oldin reaksiya muhitiga qo'shildi. Tanlangan modifikatorlar tufayli jarayon intensiv aralashtirishni talab qilmaydi, shuning uchun reaksiyani 120 ayl/min dan oshmagan tezlikda 30 daqiqa davomida olib borish kifoya bo'ladi.

30 daqiqadan so'ng reaksiya massasi xona haroratida 24 soat davomida saqlab turildi. Olingan qattiq massa 1 mm gacha maydalandi va 180 °C da termik ishlov berildi. So'ngra sorbent distillangan suv bilan pH=8 gacha yuvildi va 100 °C da doimiy massa hosil bo'lguncha quritildi. Natijada yuqori sorbsion xususiyatlarga ega, mikro g'ovakli oq kukun shaklidagi sorbent olindi.

Hosil bo'lgan sorbentning sorbsiya xossalarini o'rganish uchun 20 °C doimiy haroratda tarkibida mis ionlari mavjud bo'lgan 0,1 N mis sulfat eritmasi asosida namunaviy eritmalar tayyorlandi. O'nta probirkaga 0,1 g sorbent va 10 ml eritma qo'shildi. Aralashma ma'lum vaqt davomida doimiy aralashtirilib, so'ngra tindirish uchun qoldirildi. Tiniqlangan eritma UV-spektroskopiya usulida mis ionlari konsentratsiyasini aniqlash uchun tahlil qilindi.

Tadqiqot ikki nurli UF-1900 SHIMADZU (Yaponiya) spektrofotometrida amalga oshirildi. O'lchovlar 300–700 nm diapazonda olib borildi.

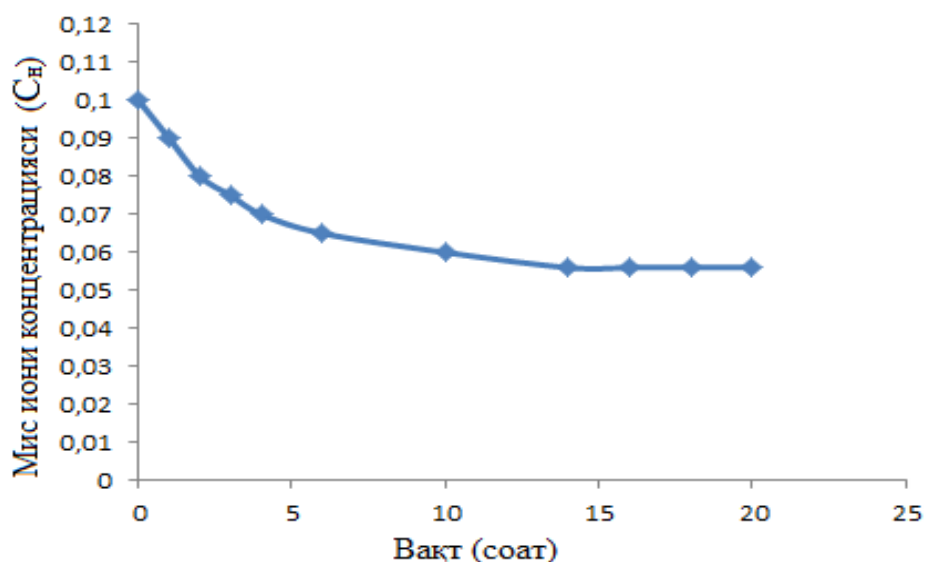
To'yingan sorbentlarning kinetik egri chiziqlarini olish uchun sorbent namunalariga ikki valentli mis ionlari ta'sir ettirildi va 2–24 soat davomida turli vaqt oralig'ida eritmadagi mis ionlarining joriy konsentratsiyasi aniqlandi. Olingan

sorbent hamda uning turli metall ionlari bilan hosil qilgan komplekslarining tashqi ko‘rinishi 3.8-rasmda keltirilgan.



3.8-rasm. Olingan sorbentni va uni turli metall ionlari bilan hosil qilgan komplekslarining tashqi ko‘rinishi

Tahlillar vaqt o‘tishi bilan amalga oshirildi va sorbentning sorbsiya qobiliyati hamda sorbsiya tezligi aniqlandi. Tadqiqot natijasida 3.9-rasmda ko‘rsatilgan quyidagi grafik olindi.



3.9-rasm. Vaqt o‘tishi bilan sorbsiyadan keyin eritmadagi mis ionlari konsentratsiyasining o‘zgarishi.

Grafikdan ko‘rinib turibdiki, mis ionlarining sorbent tomonidan eritmadan yutilish jarayoni vaqtga bog‘liq bo‘lib, 14 soatgacha (0,056 N) davom etadi. 10

soatdan keyin sorbsiya jarayoni keskin sekinlashadi, eritmaning konsentratsiyasi esa 10 soatgacha 0,06 N gacha kamayadi va 14 soatdan keyin deyarli o'zgarmaydi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, 1 soatdan so'ng eritmadagi mis ionlari konsentratsiyasi 0,1 N dan 0,09 N gacha kamayadi, 2 soatdan keyin esa asta-sekin 0,08 N gacha tushadi. 3 soatdan keyin eritmadagi mis ionlari konsentratsiyasi 0,075 N ni tashkil etadi, 6 soatdan so'ng esa eritma konsentratsiyasining 0,065 N gacha pasayishi kuzatiladi.

Olingan sorbentning statik almashinish sig'imi quyidagi formula asosida hisob-kitob balansi tenglamasidan eksperimental ravishda aniqlanadi.

$$COE_i = \frac{(C_i^0 - C_i^1) \cdot V}{m}, \text{ мг-экв/г.}$$

C_i^0 - ionining eritmadagi dastlabki konsentratsiyasi;

C_i^1 - ionining eritmadagi sorbsiyadan keyingi yakuniy konsentratsiyasi;

V – eritma hajmi ,sorbsiya uchun olingan, ml;

m – sorbsiya uchun olingan sorbentning massasi;

i – parametrlarning berilgan ionga tegishli ekanligini aks ettiruvchi indeks;

Bizning ma'lumotlar: C_i^0 - 0,1n, C_i^1 - 0,056n, V - 10ml, m - 0,1g.

$$COE_i = \frac{(0,1 - 0,056) \cdot 10 \text{ ml}}{0,1} = \frac{0,044 \cdot 10}{0,1} = 4,4 \text{ mg-ekv/g.}$$

$$4,4 \cdot 32(\text{ekv } Cu^{++}) = 140,8 \text{ mg/g, } Cu^{++} \text{ ioni bo'yicha}$$

Olingan sorbentning og'ir metall ionlariga, xususan Cu^{2+} ioniga nisbatan sorbsion qobiliyati yuqori ekanligi aniqlandi. Sorbentning Cu^{2+} ionlari uchun maksimal sorbsiya sig'imi 140,8 mg/g ga yetishi qayd etildi. Natriy metasilikat va karbamid asosida olingan ushbu sorbent mis ionlarini eritmadan samarali ajratib olish imkonini berishi bilan tavsiflanadi [60].

Shuningdek, mazkur sorbentdan foydalanish suvni tozalash jarayonida iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, ya'ni tozalash xarajatlarini kamaytiradi hamda yopiq suv aylanish tizimini tashkil etish imkonini beradi. Bu esa o'z navbatida atrof-muhitga salbiy ta'sirni sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qiladi [61].

3.3-§. Sintez qilib olingan sorbentning kumush ionini sorbsiyasi tahlili

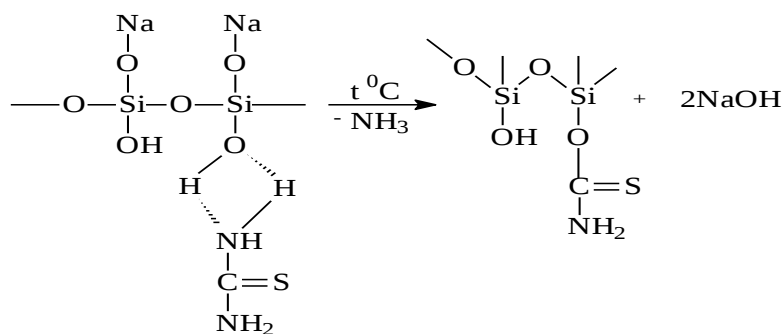
Hozirgi davrda jahonda ionitlarning yangi turlarini sintez qilish, ularning metall ionlariga nisbatan sorbsion xususiyatlarini aniqlash hamda ular yordamida eritmalar tarkibidan qimmatbaho metall ionlarini ajratib olish texnologiyalarini yaratish dolzarb vazifalardan hisoblanadi. Bundan tashqari, turli qimmatbaho metallarga nisbatan yuqori selektivlikka ega bo'lgan ionit va sorbentlarni sintez qilish hamda ularni amaliyotga joriy etish qimmatbaho metall sanoatida katta iqtisodiy samaradorlikni ta'minlaydi.

Adabiyotlardan ma'lumki, karbamid va tiokarbamidning formaldegid bilan kislotali muhitda kondensatsiya reaksiyasi keng o'rganilgan. Olingan mahsulotlar ion almashinuvchi smolalar sifatida sinovdan o'tkazilib, ularning ion almashinish sig'implari tadqiq qilingan.

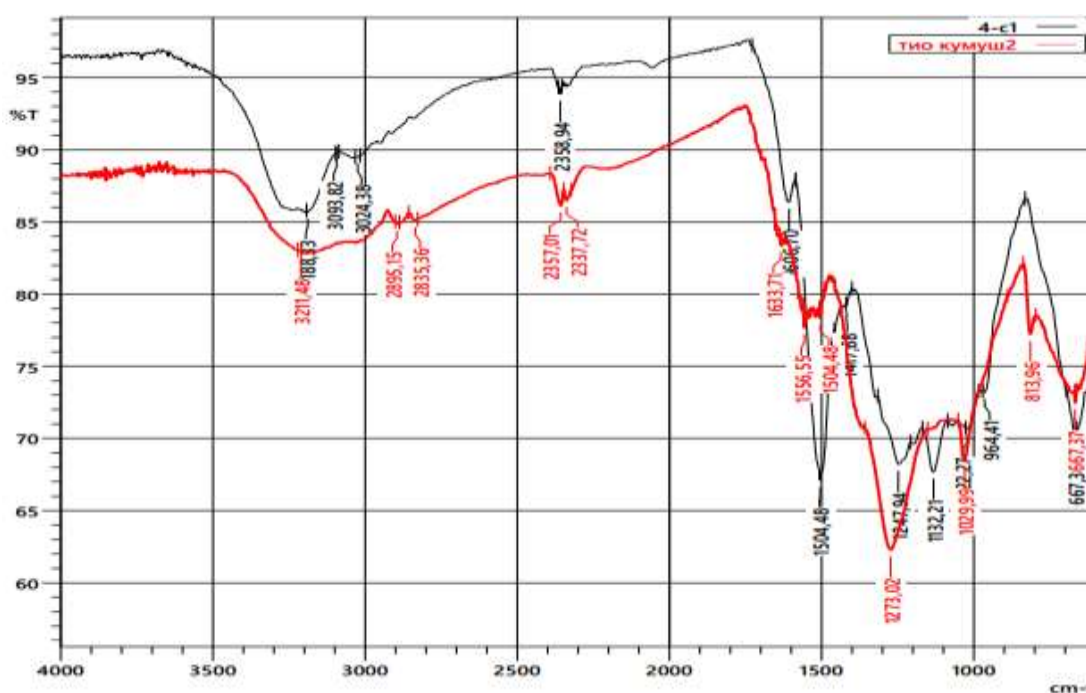
Reaksiya natijasida qanday modda yoki moddalarning hosil bo'lishi, hosil bo'lgan birikmalarda qanday funksional guruhlar mavjudligi hamda mavjud funksional guruhlardagi o'zgarishlar haqida ma'lumot olish maqsadida namunalar 4000 sm^{-1} dan 400 sm^{-1} gacha bo'lgan sohada (to'lqin uzunligi $10^{-6} - 10^{-3}\text{ m}$) IQ-spektr orqali tahlil qilinadi. Ushbu tahlil natijasida moddaning qaysi sinfga mansubligi, uning nazariy va amaliy xossalari haqida asosli xulosalar chiqarish mumkin.

Tadqiqotlar davomida Yaponiyada ishlab chiqarilgan SHIMADZU markali IQ-Furye spektrometridan foydalanildi. Spektrlarni tahlil qilish jarayoni avtomatik o'lchov tizimiga ega bo'lgan, spektrlar va ularning alohida qismlarini grafik ko'rinishda tasvirlash hamda keng spektral kutubxona bilan ishlash imkonini beruvchi dasturiy ta'minot yordamida amalga oshirildi.

IQ-spektroskopik tahlil natijalari, nazariy hisob-kitoblar hamda dastlabki reagentlarning IQ-spektroskopik ma'lumotlari bilan solishtirish asosida sorbent sintezi jarayonining taxminiy reaksiya mexanizmini quyidagicha taklif qilish mumkin.



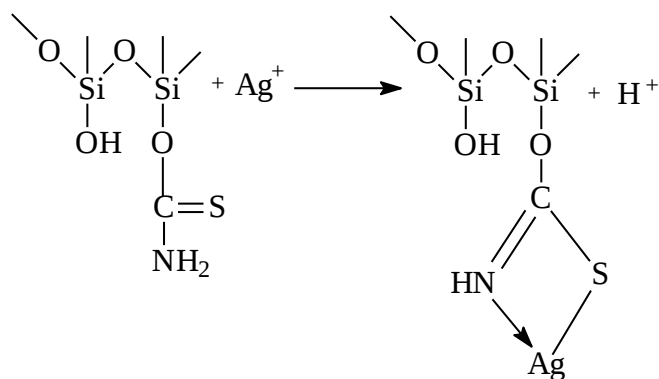
3.12-rasmda metasilikat natriy va tiomochevina asosida sintez qilingan organogibrid sorbent (4-c) ning va kumush Ag^+ ionini sorbsiya qilgan xolida IQ-spektrdagi o'zgarishlar ko'rsatilgan.



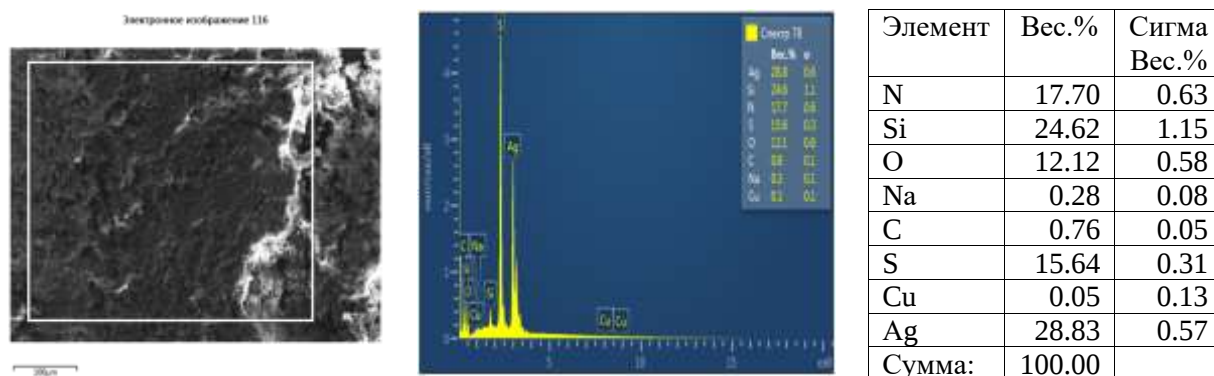
3.10-rasm. Metasilikat natriy va tiomochevina asosida sintez qilingan organogibrid sorbentning va kumush Ag^+ ionini sorbsiya qilgan jarayonidan keyingi holatda IQ-spektrdagi o'zgarishlar

Yuqorida keltirilgan rasmga ko'ra, olingan sorbent tarkibida polikremniy kislotasiga tegishli ---OH guruhining valent tebranishlari natijasida yuzaga kelgan yutilish polosasi spektrning $3188,33 \text{ cm}^{-1}$ sohasida keng intensivlik bilan namoyon bo'ladi va sorbsiya jarayonidan keyin ham ushbu sohada deyarli sezilarli o'zgarish kuzatilmaydi. Shu bilan birga, $2895,15 \text{ cm}^{-1}$ va $2835,36 \text{ cm}^{-1}$ sohalarda aminoguruhlarga tegishli yangi dubletlarning paydo bo'lishi kuzatiladi. Bu holat

sorbent tarkibidagi -NH_2 guruhlarining kumush ionlari bilan kompleks bog‘lanish hosil qilishi bilan izohlanadi. $1606,70\text{ cm}^{-1}$ va $1504,48\text{ cm}^{-1}$ sohalardagi yutilish cho‘qqilari -NH_2 funksional guruhining qaychisimon tebranishlariga tegishli bo‘lib, ularning $1633,71\text{ cm}^{-1}$ soha tomon siljishi kuzatiladi. $1504,48\text{ cm}^{-1}$ dagi cho‘qqining intensivligi kamayib, $1556,55\text{ cm}^{-1}$ sohada yangi, nisbatan past intensivlikka ega cho‘qqi paydo bo‘ladi. $667,37\text{ cm}^{-1}$ sohadagi yutilishlar -NH_2 guruhining tebranishlariga tegishli bo‘lib, ushbu sohada sezilarli o‘zgarish kuzatilmaydi. C–O guruhiga tegishli tebranish chastotasi $1247,94\text{ cm}^{-1}$ dan yuqori chastotali sohaga siljib, $1273,02\text{ cm}^{-1}$ da namoyon bo‘ladi. Si–O–Si guruhiga tegishli valent tebranishlar $1132,21\text{ cm}^{-1}$ sohada kuchli va xarakterli cho‘qqi hosil qiladi, biroq metall ionining sorbsiya qilinishi natijasida ushbu cho‘qqining qisman susayishi kuzatiladi. C=C guruhiga tegishli tebranish chastotasi $1022,27\text{ cm}^{-1}$ dan $1029,99\text{ cm}^{-1}$ ga siljib, uning intensivligi ortganligi aniqlanadi. Bundan tashqari, $813,96\text{ cm}^{-1}$ sohada metall komplekslarga xos yangi yutilish cho‘qqisining paydo bo‘lishi sorbent va kumush ioni o‘rtasida kompleks bog‘lanish hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi. Sorbent tarkibida tiokarbamidga xos bo‘lgan tio-guruhlarining saqlanib qolishi va ushbu sorbentning ayrim metall ionlariga nisbatan selektivligi adabiyot ma’lumotlari bilan ham tasdiqlanadi. IQ-spektroskopik tahlil natijalari, nazariy hisob-kitoblar hamda sorbentning dastlabki va kumush ionlarini sorbsiya qilgandan keyingi holatdagi spektrlari taqqoslanishi asosida sintez qilingan sorbent uchun quyidagi taxminiy sorbsiya mexanizmini taklif qilish mumkin.



Olingan sorbent sorbsiya jarayonidan so'ng distillangan suvda yuvilib, quritildi va skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida elementar tahlillar amalga oshirildi [62.]. Olingan natijalar 3.14-rasm va jadvalda keltirilgan.



3.11-rasm. Olingan sorbentning sorbsiyadan keyingi xolatini SEM tahlili

3.14-rasmdan ko'rish mumkinki, olingan sorbent kumush ionlarini sorbsiya qilgandan so'ng SEM tahlili amalga oshirilgan va natijalarga ko'ra tarkibdagi kumush ionlari miqdori 28,41 % ni tashkil etadi. Tahlillar natijasida elementlarning sigma massa foizi 1,5 % dan past bo'lgan holatlarda signalning aynan shu elementga tegishli bo'lish ehtimoli yuqori ekanligi aniqlanadi.

Bundan tashqari, SEM tasvirlari, tahlil natijalari hamda hisob-kitoblar asosida sintez qilingan sorbent tarkibidagi funksional guruhlarga mos ravishda kumush ionlarining sorbsiya qilinganligini hamda sorbsiya jarayoni yuqorida bayon etilgan mexanizmga mos kelishini xulosa qilish mumkin.

Shunday qilib, sintez qilingan sorbentning IQ-spektroskopik tahlili amalga oshirilib, undagi funksional guruhlar aniqlanishi asosida sorbentning taxminiy va nazariy formulasi taklif etildi. Sorbentning kumush ionlarini sorbsiya qilgandan keyingi IQ-spektri olinib, dastlabki (sorbsiya oldi) IQ-spektr bilan taqqoslab tahlil qilindi va yuzaga kelgan o'zgarishlar aniqlab berildi.

Sorbsiya jarayonidan keyin namunada SEM va elementar tahlillar o'tkazilib, natijada sorbent o'z massasiga nisbatan 28,41 % miqdorda kumush ionlarini yutgani aniqlandi. Shuningdek, IQ-spektroskopik tahlillar orqali kumush ionlari bilan kompleks birikma hosil bo'lishi tasdiqlandi.

3.4-§. Tiomochevina va metasilikat natriy asosida kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbenti sintezi va tadqiqi

Hozirgi kunda jahonda yangi turdagi ionitlar va sorbentlarni sintez qilish, ularning turli metall ionlariga nisbatan sorbsion xususiyatlarini o'rganish hamda eritmalar tarkibidan qimmatbaho metall ionlarini ajratib olish texnologiyalarini yaratish dolzarb ilmiy va amaliy vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, qimmatbaho metall ionlariga nisbatan yuqori selektivlikka ega bo'lgan ionit va sorbentlarni sintez qilish hamda ularni sanoat amaliyotiga joriy etish yuqori iqtisodiy samaradorlikni ta'minlaydi.

Adabiyot ma'lumotlariga ko'ra, karbamid va tiokarbamidning formaldegid bilan kislotali muhitdagi kondensatsiya reaksiyalari keng o'rganilgan. Hosil qilingan mahsulotlar ion almashinuvchi smolalar sifatida tadqiq qilinib, ularning ion almashinish sig'implari aniqlangan [63.].

Tiokarbamidning turli organik va noorganik birikmalar bilan reaksiyalari adabiyotlarda keng yoritilgan. Jumladan, tiokarbamid epixlorgidrin bilan xona haroratida kuchli ekzotermik reaksiyaga kirishadi. Reaksiya tezligini boshqarish va ajralib chiquvchi issiqlik miqdorini kamaytirish maqsadida jarayon turli erituvchilar ishtirokida amalga oshiriladi. Erituvchi sifatida etil spirti, izoamil spirti, dimetilformamid va toluol qo'llaniladi [64.].

Mazkur ishda tiomochevina va natriy metasilikati asosida kompleks hosil qiluvchi organogibrid sorbent sintezi hamda uning fizik-kimyoviy xossalari o'rganildi. Sintez jarayonida tiomochevinadan 60 g va silikat moduli 1,8 bo'lgan suyuq shishadan tayyorlangan natriy metasilikatining suvli eritmasidan 100 g miqdorda olinib, aralashtirgich va harorat nazorati tizimi bilan jihozlangan zanglamaydigan reaktorda 90°C haroratda reaksiyaga kiritildi.

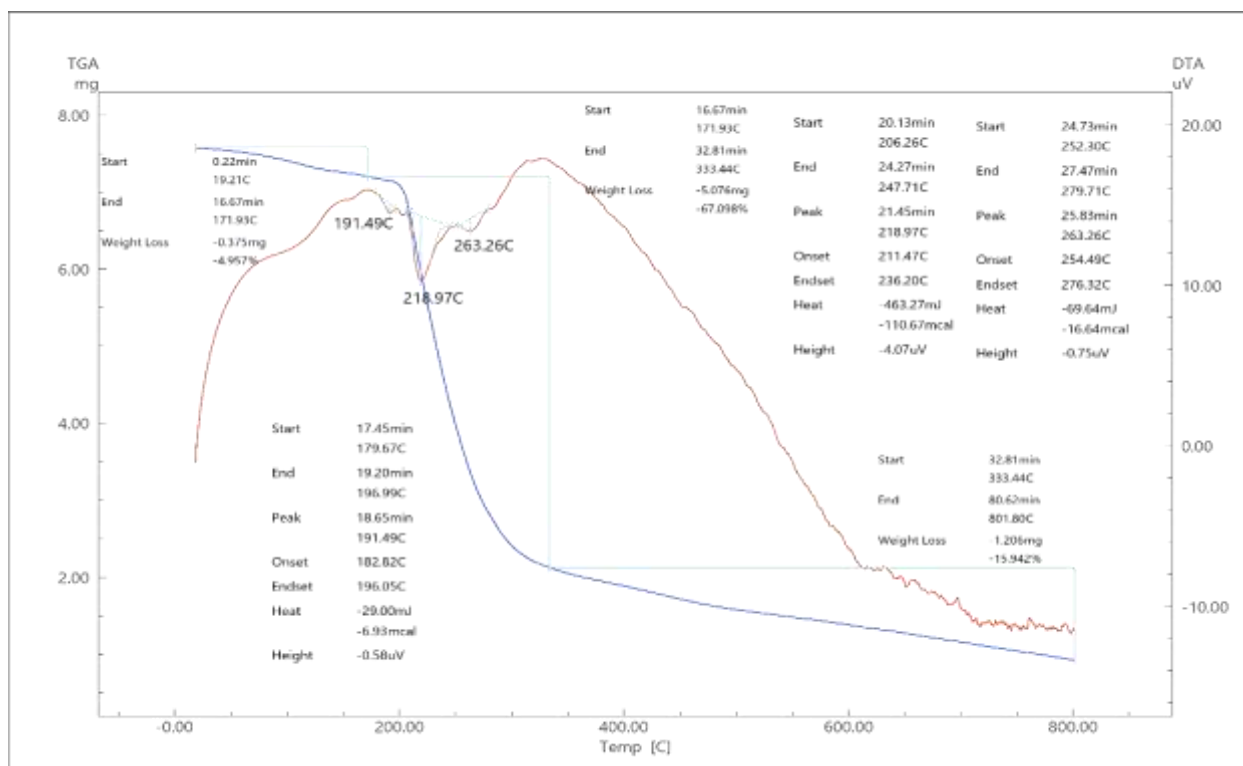
Reaksiya davomiyligi 25–30 daqiqani tashkil etdi va aralashtirish tezligi daqiqasiga 60 aylanish qilib belgilandi. Jarayon davomida tiomochevina va natriy metasilikati ishqoriy muhitda vodorod bog'lari hisobiga o'zaro ta'sirlashadi. Reaksiya tugagach,

reaksion massa xona haroratigacha sovutildi va 24 soat davomida ushbu haroratda saqlandi. Natijada massa gelsimon va mo'rt holatga o'tdi.

Hosil bo'lgan massa 1 mm o'lchamli zarrachalargacha maydalanib, 200°C haroratda termik ishlov berildi. Termik ishlov jarayonida nisbatan zaif vodorod bog'lari uzilishi natijasida ammiak gazi ajralib chiqadi hamda kremniy–kislorod va uglerod–kislorod bog'larining shakllanishi kuzatiladi. Sintez qilingan organogibrid sorbent distillangan suv bilan yuvilib, 105–110°C haroratda massa o'zgarmas holatga kelguniga qadar quritildi. Sorbentni yuvish jarayonida uning tarkibidagi ortiqcha Na⁺ ionlari chiqarib yuborildi.

Olingan organogibrid sorbentning fizik-kimyoviy xossalarini o'rganish, termik barqarorligini aniqlash hamda taklif etilgan tuzilish formulasiga aniqlik kiritish maqsadida termik tahlillar o'tkazildi. Yangi organogibrid sorbentning termogravimetrik tahlil natijalari 3.8-rasmda keltirilgan.

Tiomochevina asosida olingan sorbentning (4-C) termik tahlili o'rganildi. Termik tahlillar Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot institutida joylashgan Yaponiyaning SHIMADZU markali DTG-60 derivatografida amalga oshirildi. Tiomochevina asosida sintez qilingan organogibrid sorbentdan 7,765 mg namuna olinib, tahlil 20–800°C harorat oralig'ida olib borildi. Termik tahlillar argon inert gaz muhiti ostida amalga oshirildi. Sintez qilingan sorbentning termogravimetrik tahlili (TGA) va differensial termik tahlili (DTA) natijalari 3.10-rasmda keltirilgan.



3.12-rasm. Tiomochevina asosida olingan sorbentning termogravimetrik (TGA) va differensial termik tahlillari (DTA) dervotogrammasi.

Tiomochevina asosida olingan sorbentning derivatogrammasida 218,97–263,26 °C haroratlarda ikkita endotermik hamda 191,49 °C va 333,44 °C haroratlarda ikkita ekzotermik effektlar kuzatildi. Tiomochevina va natriy metasilikati asosida sintez qilingan sorbentning termogravimetrik egri chizig‘i tahlili shuni ko‘rsatadiki, TGA egri chizig‘ida asosan uchta intensiv massa yo‘qotilish bosqichi kuzatiladi.

Birinchi massa yo‘qotilish bosqichi 19,21–171,93 °C harorat oralig‘iga, ikkinchi massa yo‘qotilish bosqichi 171,93–333,44 °C harorat oralig‘iga, uchinchi massa yo‘qotilish bosqichi esa 333,44–801,80 °C harorat oralig‘iga to‘g‘ri keladi.

Tahlillar natijalariga ko‘ra, birinchi massa yo‘qotilish bosqichida 0,375 mg yoki 4,97 % massa kamayishi kuzatilgan bo‘lib, bu holat sorbent yuzasida adsorbsiyalangan namlikning bug‘lanishi bilan izohlanadi.

Ikkinchi massa yo‘qotilish bosqichida esa intensiv parchalanish jarayoni sodir bo‘ladi. Mazkur harorat oralig‘ida massa yo‘qotilishining asosiy qismi, ya’ni 5,076

mg yoki 67,098 % kuzatiladi. Adabiyotlar tahliliga asoslanib aytish mumkinki, ushbu massa yo‘qotilishi sorbent tarkibidagi amino va tio guruhlarining termik parchalanishi hamda sorbent tarkibidan organik qismlarning ajralib chiqishi natijasida yuzaga kelgan.

Uchinchi massa yo‘qotilish bosqichida, ya’ni 333,44–801,80 °C harorat oralig‘ida massa asta-sekin kamayib boradi va umumiy massa yo‘qotilishi 1,206 mg yoki 15,942 % ni tashkil etadi. Ushbu holat sorbent tarkibidagi kremniy atomlariga bog‘langan gidroksil guruhlarining harorat ortishi bilan bosqichma-bosqich parchalanishi natijasida sodir bo‘ladi. Mazkur natijalar sorbent sintezi jarayonida dastlabki reagentlarning qayta guruhlanishi va yangi organogibrid tuzilma shakllanganligini tasdiqlaydi.

Organogibrid sorbentning TGA va DTA egri chiziqlari natijalari tahlili 3.2-jadvalda keltirilgan.

3.2-jadval

Organogibrid sorbentning TGA va DTA egri chizig‘i natijalari tahlili

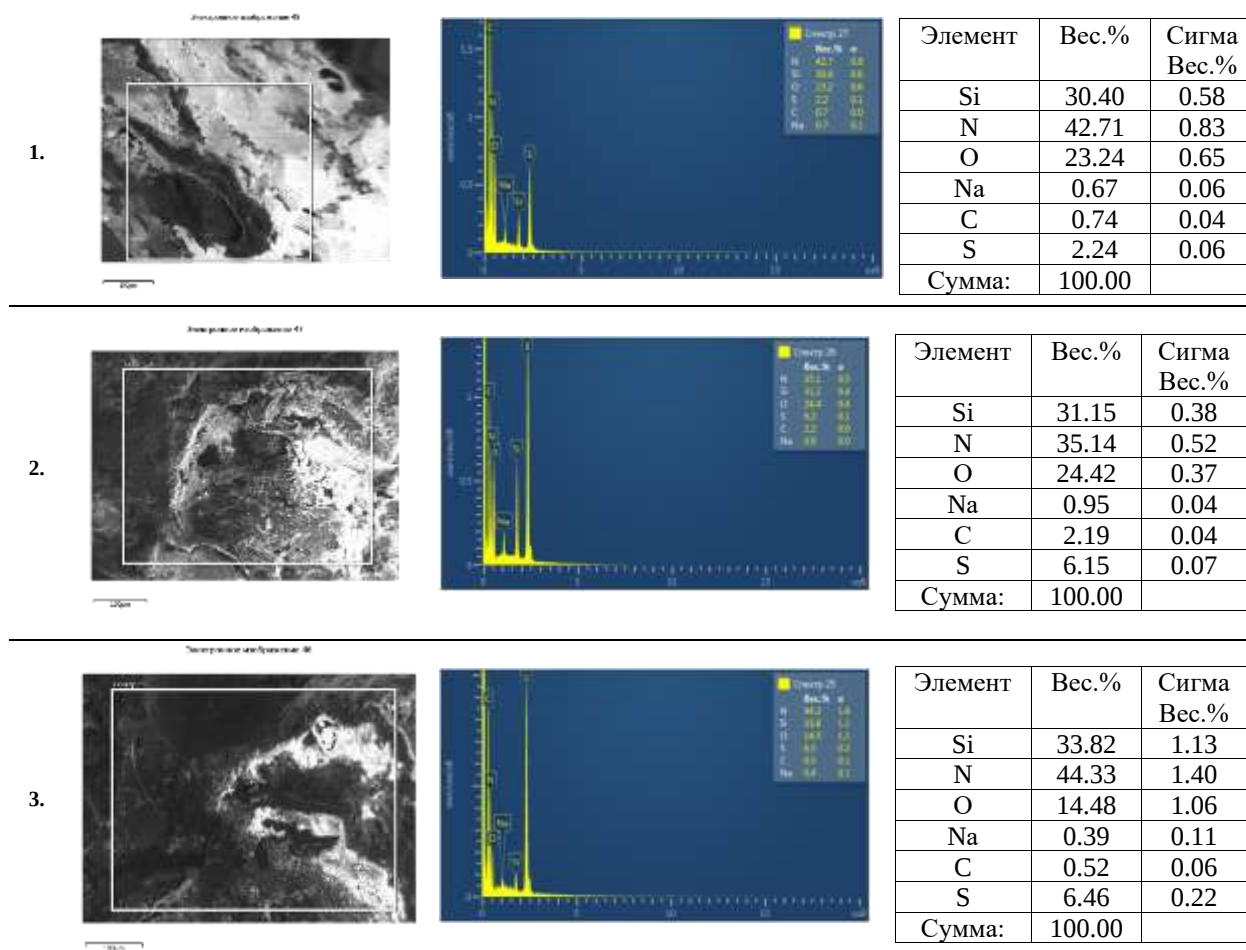
N_{e}	Harorat, °C	Yo‘ qotilgan massa, mg (13,11)	Yo‘ qotilgan massa, mg %	Sarflangan energiya miqdori ($\mu\text{B}^{\circ}\text{C}/\text{mg}$)	Sarflangan vaqt (min)	ΔW (mg)	$\Delta W/\Delta T$ (mg/min)
1.	100	0.365	4.700	12,149	9.41	7.40	0.038
2.	200	0.685	8.821	14.594	19.5	7.08	0.035
3.	300	5.365	69.09	16.693	29.4	2.40	0.18
4.	400	5.887	75.8	13.621	39.5	1.878	0.14
5.	500	6.197	79.8	4,750	49.7	1.568	0.12
6.	600	6.392	82.3	-6,473	59.9	1.373	0.106
7.	700	6.614	85.1	-10.11	70.1	1.151	0.094
8.	800	6.85	88.2	-11.44	80.4	0.915	0.085

Tiomochevina va natriy metasilikati asosida olingan sorbentning skanerlovchi elektron mikroskopik (SEM) tahlillari olib borildi. Tahlillar davomida sintez qilingan organogibrid sorbentning 100 μm kattalashtirishdagi tasviri olindi.

Namunadagi bir nechta sohalar yuqori energiyali elektron nurlar bilan skanerlandi va hosil bo'lgan signallar yuqori sezgirlikka ega detektorlar yordamida qayd etildi.

Natijada sorbent yuzasining morfologik tuzilishi hamda uning element tarkibi aniqlanib, element tahlillari natijalari olindi. Tahlillar O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Yuqori texnologiyalar markazida joylashgan zamonaviy skanerlovchi elektron mikroskop qurilmasida amalga oshirildi.

SEM tahlillari natijasida olingan ma'lumotlar, sorbent yuzasining mikrostrukturasi va element tarkibiga oid natijalar 3.13-rasm hamda unda keltirilgan jadvallarda aks ettirilgan.



3.13-rasm. Metasilikat natriy va tiomochevina asosida olingan organogibrid sorbentning SEMdagi tahlillari natijalari.

3.13-rasmdan ko'rish mumkinki, olingan sorbent strukturasi g'ovakliklar mavjud bo'lib, ularning sorbentning turli sohalarida turlicha taqsimlanganligi kuzatiladi. Xususan, kremniy miqdori yuqori bo'lgan sohalarda g'ovaklik nisbatan

kam, kremniy miqdori past bo'lgan hududlarda esa g'ovaklik darajasi yuqoriroq ekanligi aniqlangan.

Element tahlillari natijalarida ayrim elementlar uchun sigma qiymatlarining massa foiziga nisbatan 1 dan kichik bo'lishi aniqlangan elementlarning mavjudligi yuqori ishonchlilik darajasiga ega ekanligini ko'rsatadi. Bundan tashqari, SEM tasvirlari, element tahlillari natijalari va hisoblashlar asosida sintez jarayonida tiomochevina hamda natriy metasilikati orasida turli darajada tartiblangan bog'lanishlar hosil bo'lganligini taxmin qilish mumkin. Bu esa hosil bo'lgan organogibrid sorbentning murakkab fazoviy tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi. SEM tahlillari natijalari sintez qilingan sorbent tarkibida taklif etilgan funksional guruhlarining mavjudligini tasdiqlaydi va yuqorida keltirilgan taxminiy strukturaviy formula to'g'riligini qo'shimcha ravishda asoslaydi. Shunday qilib, natriy metasilikati va tiomochevina asosida selektiv xossalarga ega bo'lgan yangi organogibrid sorbent sintez qilindi. Sintez qilingan sorbentning IQ-spektroskopik tahlili natijasida uning tarkibidagi funksional guruhlar aniqlanib, sorbentning taxminiy strukturaviy formulasi taklif qilindi.

Sorbentning termik tahlillari natijalari asosida taklif etilgan formulaga yanada aniqlik kiritildi. Xususan, termik parchalanish bosqichlari tahlili orqali tiomochevinaga xos funksional guruhlarining mavjudligi tasdiqlandi hamda sorbentning yuqori haroratli muhitlarda ham barqarorligini saqlab qolishi va amaliy qo'llash imkoniyatlari mavjudligi aniqlandi.

Sintez qilingan sorbentning SEM va element tahlillari natijasida uning tarkibida azot va oltingugurt elementlari mavjudligi tasdiqlandi. Olingan natijalar IQ-spektroskopik va termik tahlil ma'lumotlari bilan mos kelib, sintez qilingan organogibrid sorbent uchun taklif etilgan taxminiy strukturaviy formulani yuqori ishonchlilik bilan asoslash imkonini berdi.

III Bob bo'yicha xulosa

1. Karbamid bilan metasilikat natriy asosida organogibrid sorbent sintezi hamda uning sorbsion xossalari sorbent sintezida dastlabki moddalarning miqdorini sorbentning sorbsion xossalarga ta'siri o'rganildi.

2. Metasilikat natriy asosida kompleks hosil qiluvchi sorbenti sintezi va fizik-kimyoviy tahlillari amalga oshirildi. IQ-spektroskopik tahlili o'tkazilib, sintez qilingan sorbentga tegishli bo'lgan funksional guruhlar tahlil qilingan.

3. Yangi sintez qilingan organogibrid sorbentining kumush ionini sorbsiyasi tahlili amalga oshirildi. Sorbsiyadan keying massa ustida SEM tahlili amalga oshirildi.

4. Tiomochevina asosida olingan sorbentning termogravimetrik va differensial termik tahlillari o'rganib chiqildi.

5. Measilikat natriy va tiomochevina asosida olingan organogibrid sorbentning SEM dagi tahlil natijalari o'rganildi.

XULOSALAR

1. Termiz shahrining sanoat komunal oqova suvlarini og'ir metallardan tozalashda sorbsiya usuli yuqori samaradorligini isbotladi.

2. Mahalliy tabiiy xomashyoda tayyorlangan HCl bilan modifikatsiyalangan bentonit sorbentidan foydalanish mumkinligi aniqlandi.

3. Oqova suvlar tozalash jarayonlaridan o'tgandan so'ng asosan tabiiy suv manbaalariga (asosan daryolarga) oqizilishini inobatga oladigan bo'lsak ba'zi shaharlarni asosiy ichimlik suvi manbayi daryo suvlarini tashkil qiladi. Ochiqroq aytadigan bo'lsak hozirda hech bir usul mavjud emaski kam harajat bilan yuqori tozalash ya'ni istemolga yaroqli holatga keltirishning deyarli iloji yo'qdir. Termiz shaxar oqova suv tozalash inshootining samaradorligi 50-55% ni tashkil etib, sinov laboratoriyalarning so'nggi kimyoviy tahlillariga asosan, oqovadagi muallaq moddalar belgilangan me'yordan 1,5 barobar, azotli nitrit esa qariyb 2 barobar ortiq me'yorda oqizilayotganligi ma'lum bo'ldi.

4. Karbamid bilan metasilikat natriy asosida organogibrid sorbent sintezi hamda uning sorbsion xossalari sorbent sintezida dastlabki moddalarning miqdorini sorbentning sorbsion xossalarga ta'siri o'rganildi.

5. Metasilikat natriy asosida kompleks hosil qiluvchi sorbenti sintezi va fizik - kimyoviy tahlillari amalga oshirildi. IQ-spektroskopik tahlili o'tkazilib, sintez qilingan sorbentga tegishli bo'lgan funksional guruhlar tahlil qilingan.

6. Yangi sintez qilingan organogibrid sorbentining kumush ionini sorbsiyasi tahlili amalga oshirildi. Sorbsiyadan keying massa ustida SEM tahlili amalga oshirildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Hammouda S. B., Chen Z., An C., Lee K. //Recent advances in developing cellulosic sorbent materials for oil spill cleanup: A state-of-the-art review // Journal of Cleaner Production. – 2021. – T. 311. – Ст. 127630. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127630.
2. Kizil S., Sonmez H.B. One-pot fabrication of reusable hybrid sorbents for quick removal of oils from wastewater // Journal of Environmental Management. – 2020. – 261-jild. – 109911-b. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109911.
3. Sahraei O. A. Z., Gao K., Iliuta M. C. Application of industrial solid wastes in catalyst and chemical sorbent development for hydrogen/syngas production by conventional and intensified steam reforming // New Dimensions in Production and Utilization of Hydrogen / Ed. S. Nanda, D.-V. N. Vo, P. Nguyen-Tri. – Elsevier, 2020. – B. 21–55. – DOI: 10.1016/B978-0-12-819553-6.00002-7.
4. Morozova A. G., Lonzinger T. M., Skotnikov V. A., Sahu J. N., Mikhailov G. G., Schenk J. L., Bhattacharyya A., Kapelyushin Y. Utilization of metallurgical slag with presence of novel CaO-MgO-SiO₂-Al₂O₃ as a composite sorbent for wastewater treatment contaminated by cerium // Journal of Cleaner Production. – 2020. – 255-jild. – 120286-b. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120286.
5. Santos D. B. L., Oliveira A. C. P., Hori C. E. Performance of Na₂CO₃-CaO sorbent in sorption-enhanced steam methane reforming // Journal of CO₂ Utilization. – 2021. – 51-jild. – 101634-b. – DOI: 10.1016/j.jcou.2021.101634.
6. Ali N., Riead M. M. H., Bilal M., Yang Y., Khan A., Ali F., Karim Sh., Zhou C., Wenjie Y., Sher F., Iqbal H. M. N. Adsorptive remediation of environmental pollutants using magnetic hybrid materials as platform adsorbents // Chemosphere. – 2021. – 284-jild. – 131279-b. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131279.
7. Liu B., Kim K.-H., Kumar V., Kim S. A review of functional sorbents for adsorptive removal of arsenic ions in aqueous systems // Journal of Hazardous

Materials. – 2020. – 388-jild. – 121815-b. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121815.

8. Humelnicu D., Lazar M. M., Ignat M., Dinu I. A., Drăgan E. S., Dinu M. V. Removal of heavy metal ions from multi-component aqueous solutions by eco-friendly and low-cost composite sorbents with anisotropic pores // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – 381-jild. – 120980-b. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.120980.

9. Ru J., Wang X., Wang F., Cui X., Du X., Lu X. UiO series of metal-organic frameworks composites as advanced sorbents for the removal of heavy metal ions: Synthesis, applications and adsorption mechanism // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2021. – 208-jild. – 111577-b. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111577.

10. Hojamberdiev M., Daminova Sh. S., Kadirova Z. C., Sharipov X. T., Mtalo F., Hasegawa M. Ligand-immobilized spent alumina catalyst for effective removal of heavy metal ions from model contaminated water // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2018. – 6-jild, 4-son. – 4623–4633-b. – DOI: 10.1016/j.jece.2018.06.070.

11. Tokarčíková M., Seidlerová J., Motyka O., Životský O., Drobíková K., Gabor R. Experimental verification of regenerable magnetically modified montmorillonite and its application for heavy metals removal from metallurgical waste leachates // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – 39-jild. – 101691-b. – DOI:

.12. Mahmoud M. E., Amira M. F., Zaghloul A. A., Ibrahim G. A. A. Microwave-enforced sorption of heavy metals from aqueous solutions on the surface of magnetic iron oxide-functionalized-3-aminopropyltriethoxysilane // Chemical Engineering Journal. – 2016. – 293-jild. – 200–206-b. – DOI: 10.1016/j.cej.2016.02.056.

13. Yamini Y., Safari M. Modified magnetic nanoparticles with catechol as a selective sorbent for magnetic solid phase extraction of ultra-trace amounts of

heavy metals in water and fruit samples followed by flow injection ICP-OES // *Microchemical Journal*. – 2018. – 143-jild. – 503–511-b. – DOI: 10.1016/j.microc.2018.08.018.

14. Bartczak P., Klapiszewski Ł., Wysokowski M., Majchrzak I., Czernicka W., Piasecki A., Ehrlich H., Jesionowski T. Treatment of model solutions and wastewater containing selected hazardous metal ions using a chitin/lignin hybrid material as an effective sorbent // *Journal of Environmental Management*. – 2017. – 204-jild, 1-qism. – 300–310-b. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.08.059.

15.. Aigbe U. O., Osibote O. A. A review of hexavalent chromium removal from aqueous solutions by sorption technique using nanomaterials // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. – 8-jild, 6-son. – 104503-b. – DOI: 10.1016/j.jece.2020.104503.

16. Li J., Zheng L., Wang S.-L., Wu Z., Wu W., Niazi N. K., Shaheen S. M., Rinklebe J., Bolan N., Ok Y. S., Wang H. Sorption mechanisms of lead on silicon-rich biochar in aqueous solution: Spectroscopic investigation // *Science of The Total Environment*. – 2019. – 672-jild. – 572–582-b. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.003.

17. Ir Zahara U. M., Arshad M., Naeth M. A., Siddique T., Ullah A. Feather keratin derived sorbents for the treatment of wastewater produced during energy generation processes // *Chemosphere*. – 2021. – 73-jild. – 128545-b. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128545.

18.Li Z., Chang P.-H., Jiang W.-T. Mechanisms of Cu²⁺, triethylenetetramine (TETA), and Cu-TETA sorption on rectorite and its use for metal removal via metal-TETA complexation // *Journal of Hazardous Materials*. – 2019. – 373-jild. – 187–196-b. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.03.085.

19. Wang Y., Huang L., Lau R. Conversion of municipal solid waste incineration bottom ash to sorbent material for pollutants removal from water // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. – 2016. – 60-jild. – 275–286-b. – DOI: 10.1016/j.jtice.2015.10.013.

20. Esfandiar N., Suri R., McKenzie E. R. Competitive sorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn from stormwater runoff by five low-cost sorbents; effects of co-contaminants, humic acid, salinity and pH // Journal of Hazardous Materials. – 2022. – 423-jild, A-qism. – 126938-b. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126938.

21. Supriya Nair, Rajeev Raghavan, // A kinetic study of CO₂ sorption/desorption of lithium silicate synthesized through a ball milling method, // Thermochimica Acta, Volume 699, 2021, 178918, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2021.178918>.].

22. Rajangam Vinodh, Aziz Abidov, Muthiahpillai Palanichamy, Wang Seog Cha, Hyun Tae Jang, // Constrained growth of solid amino alkyl siloxane (an organic–inorganic hybrid): The ultimate selective sorbent for CO₂, // Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Volume 65, 2018, Pages 156-166, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.04.024>.].

23. 71 A.V. Voronina, A. Yu Noskova, V.S. Semenishchev, D.K. Gupta, // Decontamination of seawater from ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides using inorganic sorbents, // Journal of Environmental Radioactivity, Volume 217, 2020, 106210, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106210>.].

24. 72 Wenqiang Jing, Jiaqin Wang, Bianca Kuipers, Wentao Bi, David Da Yong Chen, // Recent applications of graphene and graphene-based materials as sorbents in trace analysis, // TrAC Trends in Analytical Chemistry, Volume 137, 2021, 116212, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116212>.].

25. Гаффарова Ш.В., Тураев Х.Х., Соттикулов Э.С. Изучения модификации метасиликата натрия с карбамидом // “Замонавий органик кимёнинг долзарб муаммолари” // Республика илмий-амалий анжумани материаллари. 1-май 2021 йил. Қарши. 164-166 бет.

26.. Гаффарова Ш.В., Эшкурбонов Ф.Б., Рахмонкулов Ж. Изучение селективности сорбции ионов Cu²⁺ и Co²⁺ ионитами на основе эпоксидного производного карбамида и полиаминов // «Комплекс бирикмалар кимёсининг долзарб муаммолари» // мавзусидаги Республика

илмий-амалий конференция материаллари тўплами. 2021 йил 14-15 сентябрь, Ташкент – 2021. 263-бет.

27. Kalbende P. P., Zade A. B.// Sorption studies of terpolymers based on p-nitrophenol, triethylenetetramine, and formaldehyde // Separ. Sci. and Technol. - 2015, -V. 50, -№ 7, -p. 965-974.

28.Soner Kizil, Hayal Bulbul Sonmez, // One-pot fabrication of reusable hybrid sorbents for quick removal of oils from wastewater, // Journal of Environmental Management, Volume 261,2020,109911, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109911>.

29 . Botao Liu, Ki-Hyun Kim, Vanish Kumar, Sumin Kim, //A review of functional sorbents for adsorptive removal of arsenic ions in aqueous systems, //Journal of Hazardous Materials, Volume 388,2020,121815, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121815>.

30.Kasimov Sh.A., Turaev Kh. Kh., Djalilov A.T. //Synthesis and research of nitrogen and oxygen containing polycondensation sorbent // Proceedings of the III tashkent International innovation forum, 10-12 may, 2017, V. 2. P.133-139.

31. A.G. Morozova, T.M. Lonzinger, V.A. Skotnikov, J.N. Sahu, G.G. Mikhailov, J.L. Schenk, A. Bhattacharyya, Y. Kapelyushin, // Utilization of metallurgical slag with presence of novel CaO-MgO-SiO₂-Al₂O₃ as a composite sorbent for wastewater treatment contaminated by cerium, // Journal of Cleaner Production, Volume 255,2020, 120286, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120286>.

32. Dongjiang Yang, Blain Paul, Wujun Xu, Yong Yuan, Erming Liu, Xuebin Ke, Robert M. Wellard, Cheng Guo, Yao Xu, Yuhuan Sun, Huaiyong Zhu, //Alumina nanofibers grafted with functional groups: A new design in efficient sorbents for removal of toxic contaminants from water, //Water Research, Volume 44, Issue 3,2010,Pages 741-750, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.014>.

33. Куперштох, В.Л. Классификация упорядоченных объектов / В.Л. Куперштох, В.А. Трофимов // Алгоритмы статистической обработки информации: сб. ст. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. – С. 88–89.

34. Тураев Х.Х., Эрмуратова Н.А., Эшкурбонов Ф.Б. Изучение ионообменной способности сера- и азотсодержащего анионита по титриметрическому методу анализа // Universum: технические науки : электрон. научный журн. 2019. № 4 (61). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/7161>.

35. Kuroda K., Shimojima A., Kawahara K., Wakabayashi R., Tamura Y., Asakura Y., Kitahara M. //Utilization of alkoxysilyl groups for the creation of structurally controlled siloxane-based nanomaterials (Review) // Chemistry of Materials. – 2014. – Vol. 26, № 1. – P. 211–220.

36. 7. Murata S., Hata H., Kimura T., Sugahara Y., Kuroda K. Effective adsorption of chlorophyll a by FSM-type mesoporous silica modified with 1,4-butanediol. Langmuir, 2000, vol. 16, no. 18, pp. 7106–7108.

37. . Florin Bucatariu, Dana Schwarz, Marius Zaharia, Christine Steinbach, Claudiu-Augustin Ghiorghita, Simona Schwarz, Marcela Mihai, //Nanostructured polymer composites for selective heavy metal ion sorption, //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 603, 2020, 125211, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125211>.

38. Michaela Tokarčíková, Jana Seidlerová, Oldřich Motyka, Ondřej Životský, Klára Drobíková, Roman Gabor, //Experimental verification of regenerable magnetically modified montmorillonite and its application for heavy metals removal from metallurgical waste leachates, //Journal of Water Process Engineering, Volume 39, 2021, 101691, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101691>

39. Mohamed E. Mahmoud, Mohamed F. Amira, Amal A. Zaghloul, Ghada A.A. Ibrahim, // Microwave-enforced sorption of heavy metals from aqueous solutions on the surface of magnetic iron oxide-functionalized-3-

aminopropyltriethoxysilane, //Chemical Engineering Journal, Volume 293, 2016, Pages 200-206, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.056>.

40 Maryam Bazargan, Ferial Ghaemi, Amirhassan Amiri, Masoud Mirzaei, //Metal–organic framework-based sorbents in analytical sample preparation, //Coordination Chemistry Reviews, Volume 445, 2021, 214107, <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.214107>.

41. Jianhong Li, Lirong Zheng, Shan-Li Wang, Zhipeng Wu, Weidong Wu, Nabeel Khan Niazi, Sabry M. Shaheen, Jörg Rinklebe, Nanthi Bolan, Yong Sik Ok, Hailong Wang, //Sorption mechanisms of lead on silicon-rich biochar in aqueous solution: Spectroscopic investigation, //Science of The Total Environment, Volume 672, 2019, Pages 572-582, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.003>.

42. Dorota Kołodyńska, Justyna Bąk, Malwina Majdańska, Dominika Fila, //Sorption of lanthanide ions on biochar composites, //Journal of Rare Earths, Volume 36, Issue 11, 2018, Pages 1212-1220, <https://doi.org/10.1016/j.jre.2018.03.027>.

43. Bernadetta Kaźmierczak, Jarosław Molenda, Marek Swat, //The adsorption of chromium (III) ions from water solutions on biocarbons obtained from plant waste, //Environmental Technology & Innovation, Volume 23, 2021, 101737, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101737>.

44. Hossein Vojoudi, Alireza Badii, Shahriyar Bahar, Ghodsi Mohammadi Ziarani, Farnoush Faridbod, Mohammad Reza Ganjali, //A new nano-sorbent for fast and efficient removal of heavy metals from aqueous solutions based on modification of magnetic mesoporous silica nanospheres, //Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 441, 2017, Pages 193-203, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.05.065>.

45. Yongde Zhang, Xuegang Luo, Xiaoyan Lin, Suntao Huang, //A Sorbent Based on Liquor Distillers' Grains for the Removal of Pb(II) and Cr(III) from

Aqueous Solution, // *Procedia Environmental Sciences*, Volume 31, 2016, Pages 785-794, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.074>.

46. Dongjiang Yang, Blain Paul, Wujun Xu, Yong Yuan, Erming Liu, Xuebin Ke, Robert M. Wellard, Cheng Guo, Yao Xu, Yuhan Sun, Huaiyong Zhu. Alumina nanofibers grafted with functional groups: A new design in efficient sorbents for removal of toxic contaminants from water // *Water Research*. – 2010. – Vol. 44, Issue 3. – P. 741–750. DOI: 10.1016/j.watres.2009.10.014.

47. Иванютина А. В., Юркштович Н. К., Ромашко О.А. Получение гидрогелей на основе высокозамещенных фосфатов целлюлозы // XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии : тезисы докладов: в 4 томах-том 4. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2011. С. 203.

48. Исмаилов И.И. Джалилов А.Т. Аскарлов М.А. Химически активными полимеры и олигомеры // Монография. – Т.: Изд. “Фан”. - 1993. – 106

49. Cristina M. Fierro, Joanna Górka, Juan A. Zazo, Juan J. Rodriguez, Jowita Ludwinowicz, Mietek Jaroniec, // *Colloidal templating synthesis and adsorption characteristics of microporous–mesoporous carbons from Kraft lignin*, // *Carbon*, Volume 62, 2013, Pages 233-239, <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.06.012>.

50. Ергожин Е. Е., Чалов Т. К., Исакова Р. А., Рожкова А. Г., Ковригина Т. В. Полифункциональные аниониты на основе некоторых кислород- и азотсодержащих соединений // 3 Всероссийская Каргинская конференция, посвященная 250-летию Московского государственного университета, "Полимеры - 2004". – М.: - 2004. -С.131.

51. Abdelmonaim Azzouz, Suresh Kumar Kailasa, Sang Soo Lee, Andrés J. Rascón, Evaristo Ballesteros, Ming Zhang, Ki-Hyun Kim, // *Review of nanomaterials as sorbents in solid-phase extraction for environmental samples*, // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, Volume 108, 2018, Pages 347-369, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.009>.

52. Łukasz J. Wilk, Agnieszka Ciechanowska, Elżbieta Kociołek-Balawejder, //Removal of sulfides from water using a hybrid ion exchanger containing manganese(IV) oxide, //Separation and Purification Technology, Volume 231, 2020, 115882, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115882>
53. Saima Sohni, Rokiah Hashim, Hafiz Nidaullah, Junidah Lamaming, Othman Sulaiman, //Chitosan/nano-lignin based composite as a new sorbent for enhanced removal of dye pollution from aqueous solutions, //International Journal of Biological Macromolecules, Volume 132, 2019, Pages 1304-1317, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.151>.
54. Jing Ru, Xuemei Wang, Fangbing Wang, Xinglan Cui, Xinzheng Du, Xiaoquan Lu, //UiO series of metal-organic frameworks composites as advanced sorbents for the removal of heavy metal ions: Synthesis, applications and adsorption mechanism, //Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 208, 2021, 111577, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111577>.
55. Sarthak Gupta, S. Sireesha, I. Sreedhar, Chetan M. Patel, K.L. Anitha, //Latest trends in heavy metal removal from wastewater by biochar based sorbents, //Journal of Water Process Engineering, Volume 38, 2020, 101561, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101561>.
56. Ешимбетов Алишер Гулумбаевич // ИҚ-спектроскопия усулидан амалий қўлланма // Тошкент. 2014, Б. 15-17.
57. Eslami-Farsani Reza; Khalili S. Mohammad Reza; Hedayatnasab Ziba; Soleimani Neda Influence of thermal conditions on the tensile properties of basalt fiber reinforced polypropylene-clay nanocomposites // Mater. and Des.; 2014, C. 540-549
58. Фаффорова Ш.В., Соттикулов Э.С. “Влияние температуры в процессе получения сорбента на выход продукта и сорбционную емкость” // “EurasiaScience” XLVII международная научно–практическая конференция 15 август Москва –2022г. ст.62

59.Ш.В Гаффорова., Х.Х Тураев., А.Т.Джалилов., Э.С.Соттикулов.“Синтез қилинган органогибрид сорбентнинг ТГА ва ДТА эгри чизиги натижалари таҳлили”// “Муҳандислик –технология фан соҳалардаги муаммолар: “ечим ва таклифлар” мавзусидаги профессор ўқитувчилари ва талабаларнинг илмий изланиш натижалари илмий –техник анжумани. Термиз– 2022 й. 15-16 сентябрь

60.Гаффорова Ш.В., Тураев Х.Х., Соттикулов Э.С. Эшқурбонов Ф.Б. “Получение комплексобразующего сорбента на основе модификации метасиликата натрия с карбамидом и изучение его сорбционных свойств”// UNIVERSUM: технические науки. Выпуск: 4(85). Апрель 2021. Часть 3. Москва – 2021, ст. 96-99.

61. Гаффорова Ш.В., Тураев Х.Х., Соттикулов Э.С., Бабамуратов Б.Е. “Метасиликат натрий асосида олинган сорбентнинг сорбцион сифимини аниқлаш” // “Саноат инжинериясининг долзарб муаммолари” республика илмий –амалий 20-22 октябрь, 2021 г, Т.: 226-227-бет.

62. Ш.В Гаффорова .,Х.Х Тураев ., А.Т.Джалилов., Э.С.Соттикулов “Янги синтез қилинган органогибрид сорбенти ва унинг кумуш йонини сорбсияси таҳлили”// НамДУ илмий ахборотномаси - Научный вестник НамГУ 2022 йил 5–сон. 215-222- бет.

63. Куперштох, В.Л. Классификация упорядоченных объектов / В.Л. Куперштох, В.А. Трофимов//Алгоритмы статистической обработки информации: сб. ст. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. – С. 88–89.

64. Курода, К., Схиможима, А., Кавахара, К., Вакабаяси, Р., Тамура, Й., Асакура, Й., Китахара, М. Утилизацион оф алкохисилл групп фор тхе креацион оф структуральный контрол наноматериал на основе силоксан (Ревиев). Чемистрий оф Материалс, 2014, вол. 26, но. 1, пп. 211–220.,