

**NAMANGAN MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/29.08.2023.K/T.66.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**TOSHKENT KIMYO TEXNOLOGIYA INSTITUTI
UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI**

RAXMATULLAYEVA NIGORA TURGUNOVNA

**MAHALLIY XOM ASHYO ASOSIDAGI KO‘MIRLI ADSORBENTLARNI
MO‘RIDAN CHIQUVCHI TUTUNLARNI YUTILISHIDA QO‘LLASHNING
KOLLOID-KIMYOVIY JIHATLARI**

02.00.11-Kolloid va membrana kimyosi

**KIMYO FANLARI bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Namangan-2024

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of the dissertation abstract of doctor of filosofy (PhD)

Raxmatullayeva Nigora Turgunovna

Mahalliy xom ashyo asosidagi ko'mirli adsorbentlarni mo'ridan chiquvchi tutunlarni yutilishida qo'llashning kolloid-kimyoviy jihatlari.....3

Рахматуллаева Нигора Тургуновна

Коллоидно-химические аспекты применение угольных адсорбентов на основе местного сырья для поглощение печных дымов21

Rakhmatullaeva Nigora

Colloidal-chemical aspects of the use of coal adsorbents based on local raw materials for the absorption of furnace fumes.....39

E'lon qilingan ilmiy ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works.....43

**NAMANGAN MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/29.08.2023.K/T.66.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**TOSHKENT KIMYO TEXNOLOGIYA INSTITUTI
UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI**

RAXMATULLAYEVA NIGORA TURGUNOVNA

**MAHALLIY XOM ASHYO ASOSIDAGI KO'MIRLI ADSORBENTLARNI
MO'RIDAN CHIQUVCHI TUTUNLARNI YUTILISHIDA QO'LLASHNING
KOLLOID-KIMYOVIY JIHLARI**

02.00.11-Kolloid va membrana kimyosi

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

Namangan-2024

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.4.PhD/K580 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent kimyo-texnologiya institutida bajarilgan
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.namnti.uz) va Axborot ta'lim portalida «ZiyoNet» da (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Jumayeva Dilnoza Jo'rayevna texnika fanlari doktori, professor
Rasmiy opponentlar:	Salixanova Dilnoza Saidakbarovna texnika fanlari doktori, professor Baxronov Hayot Nurovich kimyo fanlari doktori, professor
Yetakchi tashkilot:	Namangan davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Namangan muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/29.08.2023.K/T.66.02 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil «12» noyabr soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy. Tel.: (+99869) 228-76-75; faks: (+99869) 228-76-71, e-mail: niei_info@edu.uz.

Dissertatsiya bilan Namangan muhandislik-texnologiya institutining Axborot resurs markazida tanishish mumkin (№ 321 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy. Tel.: (+99869) 228-76-75; faks: (+99869) 228-76-71).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «30» oktabr kuni tarqatildi.
(2024 yil «30» oktabr № 11 raqamli reestr bayonnomasi)




O.K. Ergashev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi, k.f.d., prof.


D. Sh. Sherqo'ziyev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash kotibi, t.f.d., prof.


A.D. Eshmetov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi o'rinbosari, t.f.d., prof.

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda sanoatning qator tarmoqlari xususan, kimyo, metallurgiya, neft va gaz sanoatlarida ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan, tarkibida zaharli va halokatli qo‘shimchalar saqlagan, shuningdek atmosfera va atrof-muhitni zararllovchi gaz chiqindi tashlanmalarining asosiy manbaasi hisoblanadi. Atrof muhit muhofazasi masalalari hamda sanoatning turli tarmoqlarida yuzaga kelgan muammolarning yechimi uchun xizmat qiladigan adsorbentlardan adsorbsiya jarayonlarida foydalanilganda turli tabiatga ega chiqindi gazlarni tozalashda ishlab chiqarishning turli tarmoqlarida keng qo‘llanilib kelinadi. Xususan, sanoatning ko‘pgina tarmoqlarida faollantirilgan adsorbentlarning turli assortimentlarini ishlab chiqarishda asosan, tarkibidagi uglerodning dastlabki miqdori 76,0–86,0% dan yuqori bo‘lgan uglerodli materiallardan, o‘simliklarning poya va shoxlaridan, chiqindi sifatida utilizatsiya qilingan mevalarning danaklaridan, jumladan o‘rik, shaftoli, yong‘oq kabi, shuningdek gil minerallaridan hamda ularga yondosh boshqa xom ashyo chiqindilari asosida olinadigan adsorbentlardan foydalanish uchun ularning fizik-kimyoviy xossalarini, adsorbsion qobiliyatini yaxshilash asosida chuqur ilmiy tadqiqotlar olib borilayotgan bo‘lib, samarali adsorbentlarni sanoatning turli tarmoqlarida qo‘llash muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda daraxt yog‘ochi chiqindi poyalari va ular asosida faollantirib olingan sorbsion materiallar olish bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada atrof-muhit muhofazasi masalalarining yechimi uchun xizmat qiladigan, sanoat va korxonalaridan chiqayotgan zararli gazlarning sorbsiyasida qo‘llaniladigan sorbentlarni qo‘llashning ilmiy asoslarining tahlil qilish; korxonalaridan chiqayotgan chiqindi gazlarni tozalash maqsadida ularni turli usullar yordamida faollantirib olingan sorbentlardan foydalanish; sorbentlarning sorbsion mexanizmlarini aniqlashda sorbatlarni adsorbsiya mexanizmi bo‘yicha quyidagi yo‘nalishlarda yechimlarni ilmiy asoslash: jumladan, turli usullarda faollashtirib olingan adsorbentlarda gazlarning sorbsiya mexanizmi; faollashtirilgan sorbsion materiallarning fizik-kimyoviy xarakteristikalari tadqiqi va tahlili; yuqori sorbsion qobiliyatga ega sorbsion materiallarda qutbli va qutbsiz adsorbat molekulalarining adsorbsiya mexanizmi; adsorbentlarda o‘rganilgan adsorbsiya izotermalarini mikrog‘ovaklar hajmiy to‘yinish nazariyasi tenglamalari yordamida tavsiflashga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Respublikamiz miqiyosida chiqindi xomashyolaridan import o‘rnini bosuvchi sorbsion xususiyatli uglerodli adsorbentlarni olish va ular turli gaz chiqindilarining sorbsiyasini o‘rganish, ekologik va ijtimoiy muammolar yechimini izlash borasida ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. O‘zbekiston Respublikasining 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonni taraqqiyot strategiyasining 7 - bandida «Yashil iqtisodiyot texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish orqali 2026 yilga qadar iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 foizga oshirish va havoga chiqariladigan zararli gazlar hajmini 20 foizga qisqartirish choralari ko‘rilsin»¹ kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada esa, jumladan mahalliy lashtirilayotgan daraxtning chiqindi xomashyo mahsulotidan foydalanib sorbsion qobiliyati yuqori bo‘lgan adsorbentlar olish va atrof muhitga zarar yetkazayotgan uglerod dioksidi va

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «2022-2026 yillarda 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonni taraqqiyot strategiyasi» to‘g‘risidagi Farmoni

vodorod sulfidi gazlarining sorbsiyasida qo'llash ekologik muammolarni kolloid kimyoviy yechimida muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son «2017-2021-yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta tamoyili bo'yicha Harakatlar strategiyasi» to'g'risidagi Farmoni, 2017 yil 23-avgustidagi PQ-3236-son «2017-2021- yillarda kimyo sanoatini rivojlantirish dasturi to'g'risida»gi Qarori, shuningdek mazkur faoliyatga tegishli me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni bajarishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi, shu bilan birga tegishli faoliyat uchun taaluqli keltirilgan me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilab olingan barcha vazifalarni bajarishda mazkur dissertatsiya tadqiqot ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining asosiy ustuvor yo'nalishlariga bog'lqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining «VII. Kimyoviy texnologiya va nanotexnologiyalar» ustuvor yo'nalishiga muvofiq holda bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Bugungi zamonaviy hamda klassik ilmiy adabiyotlar tahlilidan ma'lum bo'ladiki, adsorbentlar olish usullari, adsorbsiya mexanizmi hamda termodinamik xarakteristikalar bo'yicha tadqiqotlar, seolitlarda sorbatlar sorbsiyasi jarayonlari, ularning qo'llanilish sohalari tanlash kabi ilmiy tadqiqot ishlanmalari yetarli darajada keng yoritilgan. Hozirga qadar turli xomashyolar asosida faollash usullarini tanlab adsorbentlar olish hamda adsorbsiya jarayonlarining tadqiqoti, jumladan sorbsiya mexanizmi va tegishli sohalarda ularni qo'llash uchun ishlab chiqarish korxonalariga tavsiyalar berish, seolitlar sintezi, ularning adsorbsiyasi, to'liq termodinamik mexanizmlarining tadqiqoti, katalizatorlar olish va ularni qo'llanilishi bo'yicha dunyo olimlari tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilmoqda.

Bugungi kungacha dunyo olimlari tomonidan kimyo sanoati, tibbiyot va ekologiya muammolarini yechimi uchun xizmat qiladigan yuqori sorbsion xususiyatli adsorbentlarni daraxt yog'ochi chiqindilari asosida turli faollashtirish usullari orqali olish bo'yicha ilmiy izlanishlar ma'lum va unga bo'lgan qiziqishlar davom etmoqda. Jumladan, daraxt yog'ochlaridan sorbentlar olish ustida izlanishlar olib borayotgan xorijiy soha mutaxassislaridan B.N. Kuznesov, T.N. Konogonov, M.I. Chudakov, L.P. Levonova, G.N. Dalimovalar hamda yog'och asosida olingan sorbsion materiallarda gazlarning adsorbsiyasi ustida izlanishlar olib borgan yetuk olimlardan K.V. Shele, A.F. Fontan, T.Ye. Lovis, M.M. Dubinin, A.V. Kiselev, N.D. Zelinskiy, N.A. Shilova, W.W. Wang, Yu.I. Tarasevich va boshqalar ilmiy tadqiqotlar olib borishgan.

O'zbekistonda kolloid kimyoning muhim ilmiy masalalari va ularning yechimlari ustida izlanishlar olib borgan ilmiy maktabning shakllanishiga asos solgan yetuk olim, akademik K.S. Axmedov va ular boshchiligidagi ilmiy maktab vakillaridan E.A. Aripov, F.L. Glekel, S.S. Xamrayev, A.A. Agzamxodjaye, S.N. Aminov, G.U. Raxmatkariyev, S.Z. Muminov, G.R. Narmetova, U.K. Axmedov, O.K. Ergashev, I.D. Eshmetov, D.S. Salixanova, D.J. Jumayeva, A.B. Abdikamalova, H.N. Baxronov va boshqa qator davomchi olimlar mazkur sohaning rivojlanishi uchun salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar.

Shuni alohida qayd etish lozimki, mazkur maktab vakillari bo'lgan soha olimlari tomonidan bugungi kungacha Pavlovniya daraxti yog'ochi chiqindilari asosida

faollashtirishning an'anaviy hamda noan'anaviy usullarini tanlab adsorbent olish, sorbsion jarayonlarning termodinamik xarakteristikalarini tavsiflash, shuningdek gazlarni tarkibidagi zararli va zaharli moddalarni sorbsiya jarayonlari mexanizmlarining tadqiqoti bo'yicha yetarlicha ilmiy izlanishlar olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Umumiy va noorganik kimyo institutining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq IL-402104431 «Mahalliy daraxt poya chiqindilari asosida oziq-ovqat sanoatida qo'llash uchun import o'rinbosar adsorbent olish» mavzusidagi amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi daraxt yog'ochidan faollashtirib olingan Pp-PAU-A, PPAU-A hamda Mt-PAU-A sorbentida adsorbsion-kalorimetrik usulda CO₂ ning adsorbsiya mexanizmini aniqlash hamda ularni atrof muhit muhofazasining yechimi uchun tavsiya etishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Daraxt yog'ochi po'stlog'i va poyalari xomashyosi hamda ular asosida olingan adsorbentlarni kimyoviy tarkibini tadqiq etish;

Daraxt xomashyo chiqindilari asosida piroliz hamda pargazli faollashtirishni amalga oshirish jarayonida atrofga chiqadigan zararli va zaharli gazlarni xromatogramma usuli yordamida tadqiq etish;

Faollashtirib olingan adsorbentlar (Pp-PAU-A, PPAU-A, Mt-PAU-A) ni fizik-kimyoviy tahlillarini, jumladan, rentgenfazaviy, IQ-spektr, xromatografiya kabi tadqiqot tahlillarini amalga oshirish;

Suv bug'i yordamida an'anaviy faollashtirilgan uglerod asosli daraxti po'stlog'idan olingan Pp-PAU-A va PPAU-A adsorbentlarida qutbsiz molekula CO₂ adsorbsiyasining termodinamik xarakteristikalarini aniqlash;

An'anaviy faollashtirilgan Pavloniya daraxti po'stlog'idan olingan Pp-PAU-A va PPAU-A adsorbentlarida CO₂ adsorbsiyasining izotermasi va ular asosidagi MHTN tenglamalari yordamida tavsiflash;

Noan'anaviy usulda faollashtirib olingan Mt-PAU-A adsorbentida CO₂ molekulasi adsorbsiya mexanizmini aniqlash;

Faollashtirib olingan Pp-PAU-A, PPAU-A hamda Mt-PAU-A, shuningdek import BAU-A adsorbentlarida CO₂ molekulasini adsorbsiyasi termodinamik xarakteristikalarining qiyosiy tahlillarini olib borish;

Tabiiy gaz tarkibidagi toksik molekulalarning faollashtirib olingan adsorbentlar g'ovaklarida sorbsiyalanishining eksperimental tadqiqotini amalga oshirish va atrof muhit muhofazasi uchun tavsiyalar ishlab chiqish.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida qutbsiz CO₂ molekulasini, daraxt po'stlog'i asosida olingan Pp-PAU-A, shuningdek daraxt yog'ochi asosida an'anaviy usulda faollashtirib olingan PPAU-A hamda noan'anaviy usulda olingan Mt-PAU-A sorbenti, Tian-Kalve DAK-1-1 markali mikrokalorimetr qurilmasi shuningdek, solishtirish maqsadida import-analog (BAU-A) adsorbenti tanlangan.

Tadqiqotning predmetini pavloniya daraxti yog'ochi asosida turli usullarda faollashtirib olingan uglerod asosli, yuqori g'ovakli adsorbentlarni olish hamda ularni kolloid-kimyoviy xossalari, termodinamik xususiyatlarini tadqiqoti orqali Pp-PAU-A,

PPAU-A va Mt-PAU-A sorbenti, shuningdek import analog BAU-A adsorbentlarning sorbsiya qonuniyatlari hamda adsorbent-adsorbat o‘zaro ta’sirlashish mexanizmlari tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Mazkur dissertatsiya tadqiqoti ishini bajarishda sorbentlarning fizikaviy hamda kolloid-kimyoviy xarakteristikalari, jumladan xromatogramma va rentgenfazali tahlil usullari, yuqori vakuumli mikrokalorimetrli Tian-Kalve DAK-1-1 qurilmasi tahlili qo‘llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

- Pp-PAU-A, PPAU-A hamda Mt-PAU-A adsorbentlarida kvadrupol CO₂ molekulasida adsorbsiyasining izotermasi va asosiy termodinamik tavsiflari (ΔH , ΔF , ΔS) asosida faol markazlarning miqdori va ulardagi adsorbsiyalanish qonuniyatlari aniqlangan;

- Pp-PAU-A adsorbentining dastlabki faol markazida kvadrupol CO₂ adsorbsiyasida 4CO₂:C_I tetramer kompleksigacha 0,1 mmol/gga, keyingi faol markazi 0,125 mmol/g adsorbsiya miqdoriga karrali ravishda qonuniyatli sorbsiyalanishi va 4CO₂:C_{II} kompleks hosil bo‘lishi isbotlangan;

- PPAU-A adsorbenti faol markazida CO₂ adsorbsiyasida mono- va trimer (nCO₂:C) komplekslar hosil qilishida entalpiyaning ortishi CO₂ ning Van-der-Vaals o‘zaro ta’sir kuchi orqali induksion effekt natijasida qo‘shimcha issiqlik ajralishi orqali asoslanilgan;

- Mt-PAU-A adsorbentining I-koordinatsion sferasida pentamer 5CO₂:C komplekslarini, shuningdek umumiy holda C:5CO₂:5CO₂ kompleksini hosil qilib, II-koordinatsion sferada adsorbat/adsorbat o‘zaro ta’sirlashuv asoslanilgan;

- Mt-PAU-A adsorbentida CO₂ adsorbsiya differensial entalpiyasi Pp-PAU-A va PPAU-A dan yuqoriligi va uning mikrog‘ovaklarini yuqori darajada faollashuvi isbotlangan;

- CO₂ ning to‘yinish bosimida MHTN tenglamalari asosida hisoblangan adsorbsiya miqdori Mt-PAU-A da PPAU-A dan 1,7 marta, Pp-PAU-A dan 3,8 marta ko‘p ekanligi isbotlangan;

- ilk marotaba Pavlovniya daraxti chiqindilari asosida yangi adsorbentlarini olishning noan’anaviy faollashtirish usuli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Pavlovniya daraxtining chiqindi po‘stloq qismidan faollashtirishning an’anaviy usulda suv bug‘i yordamida faollashtirilgan uglerodli adsorbent olish texnologiyasi yaratilgan;

Atrof-muhit muhofazasida qo‘llash uchun chiqindilar asosida faollashtirib olingan, yuqori sorbsion xususiyati va sirt yuzasiga ega adsorbentlar ishtirokida tabiiy gazlarni tarkibida mavjud uglerod to‘rt oksidini ruxsat etilgan me’yorgacha sorbsiyalashi aniqlangan;

Atrof-muhit hamda inson salomatligi uchun zaharli va zararli bo‘lgan gazlarni (CO₂ va boshqa) faollashtirishning an’anaviy va noan’anaviy usuli asosida olingan adsorbentlar adsorbsiyasida qo‘llashning usuli ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Faollashtirilgan sorbentlarning kolloid-kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil natijalari asosida «Farg‘ona NQIZ» MChJda

o'tkazilgan sanoat-tajriba sinovi hamda olingan dalolatnoma shuningdek, yuqori tashkilotning qo'llab-quvvatlash to'g'risidagi ma'lumotnomasi bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati Pavlovniya daraxti poyasi va shoxa chiqindilarini an'anaviy va noan'anaviy faollashtirish jarayonlarida solishtirma sirt yuzasi o'zgarishlari hisobidan sorbsion xarakteristikalarini o'rganish, faollashtirilgan adsorbentlarda turli zararli gazlarning adsorbsiyasi o'zgarishlari, adsorbent-adsorbat o'zaro ta'sirlashish mexanizmi asosida sorbentlarda CO₂ adsorbsiyasining korrelyatsion bog'lanish qonuniyatlarini aniqlash bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati daraxtlarning chiqindi xomashyolarini faollashtirishi asosida yuqori g'ovaklikka ega mahalliy xomashyo chiqindilaridan adsorbentlar olish hamda ularni tabiiy gazlarni tarkibidagi CO₂ dan tozalashning imkoniyatlarini baholash bilan izohlanadi. Respublikamizning keng plantatsiyalarida mahalliyashtirib ko'paytirilayotgan Pavlovniya daraxtining shoxa hamda po'stloq chiqindilarini an'anaviy parqazli faollashtirish, shuningdek Pavlovniya shoxa chiqindilarini mikroto'lqinli ta'sirlashuv orqali noan'anaviy usulda faollashtirishdan olingan yuqori uglerodli adsorbentlarning CO₂ gazi adsorbsiyasining to'liq termodinamik xarakteristikalari va adsorbsion xususiyatlari, shuningdek yuqori solishtirma sirt yuzasiga ko'ra import o'rnini bosishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Pavlovniya daraxtining buddalangan shoxalari va po'stloq qism chiqindisidan faollashtirib olingan uglerodli, yuqori sorbsion xususiyatli adsorbentlarni olish va ularning asosiy termodinamik xarakteristikalarini mikrokalorimetr qurilmasida adsorbsiyasini o'rganishdan olingan ilmiy natijalar asosida:

Yog'och ko'mir asosida adsorbent olish usuliga O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi tomonidan foydali modelga patenti olingan (FAP № 2480. 18.08.2023). Natijada, yangi turdagi sorbentlarni olishning usuli yordamida sorbsion materiallarni olishning imkonini bergan;

daraxt po'stlog'i va shoxa chiqindilari yordamida olingan Pp-PAU-A va PPAU-A hamda Mt-PAU-A adsorbentlarini faollashtirib olishning texnologiyasi «Farg'ona neft-gaz» MChJning «2024-2025 yillarda amaliyotga joriy etish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati»ga kiritilgan («Farg'ona NQIZ» MChJning 2023 yil 13 sentabrdagi 02-03-01/135-son ma'lumotnomasi). Natijada, Pp-PAU-A, PPAU-A hamda Mt-PAU-A adsorbentlarining asosiy termodinamik xarakteristikalari (ΔH , ΔF , ΔS va izotermasi) asosida ularning solishtirma sirt yuzasi va gazlarni yutishi bo'yicha to'liq adsorbsiya mexanizmi to'g'risidagi ma'lumotlar yordamida neft va gaz korxonalari tarmog'ida qo'llashning imkonini beradi;

an'anaviy va noan'anaviy usullarda faollashtirib olingan yuqori uglerodli Pp-PAU-A va PPAU-A hamda Mt-PAU-A tipidagi adsorbentlar ishtirokida tabiiy gazlarni tarkibidagi zaharli va zararli CO₂ kabi toksik gazlardan tozalashning texnologiyasi «Farg'ona NQIZ» MChJning «2024-2026 yillarda amaliyotga joriy etish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati»ga kiritilgan («Farg'ona NQIZ» MChJning 2023 yil 13 sentabrdagi 02-03-01/135-son ma'lumotnomasi). Natijada, tabiiy gazlarni tarkibidagi CO₂ kabi zararli gazlarni ruxsat etilgan me'yor darajasigacha tozalashda import o'rnini bosuvchi adsorbent sifatida foydalanilishi tufayli milliy valyutani tejash imkonini beradi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot ishining asosiy natijalari 5 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarida muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining nashr etilganligi. Dissertatsiya tadqiqoti mavzusi bo'yicha jami 20 ta ilmiy ishlar nashr etilgan, shundan 1 ta foydali model, 1 ta monografiya hamda O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi dissertatsiyalarning asosiy natijalarini nashr etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta ilmiy maqola, jumladan 2 tasi respublika va 4 tasi xalqaro jurnallarda nashr qilingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, 4 ta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya tadqiqot ishi mavzusiga aloqador tadqiqotlarning dolzarbligi, zarurati hamda maqsad va vazifalarining asoslanilganligi, shuningdek tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ob'yekti va predmeti keltirilgan bo'lib ilmiy yangiligi hamda amaliy jihatlari keng yoritilgan. Olingan natijalarning ishonchliligi, ilmiy hamda amaliy ahamiyati bayon qilingan, shuningdek ilmiy tadqiqot ishi bo'yicha nashr etilgan ishlar hamda dissertatsiyaning tuzilishi haqidagi muhim ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Atrof muhit muhofazasida qo'llaniladigan faollashtirilgan adsorbentlarning olinishi, qo'llanilishi va ularning zamonaviy holatining tahlili**» deb nomlangan birinchi bobida bugungi kunda ishlab chiqarish korxonalaridan chiqayotgan zaharli tutun-gazlarning atrof-muhitga ta'sirining ilmiy tahlillari, atrof muhit muhofazasida muhim bo'lgan yuqori sorbsion xususiyatga ega adsorbentlar olishda xomashyo resurslarini tanlashning ilmiy asoslarining tahlili, atrof muhitga ta'sir etayotgan zararli tutun-gazlar adsorbtsiyasida faollashtirilgan adsorbentlarning roli, sorbsion materiallarning atmosfera havosi tarkibidagi zararli gazlarning adsorbtsiyasida qo'llanilishi bo'yicha adabiyotlar tahlili keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Atrof-muhitga chiqayotgan zaharli gazlar sorbsiyasida qo'llaniladigan adsorbtsion materiallarning olinishi va fizik-kimyoviy xususiyatlari**» deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot ob'yekti bo'lgan Pavlovniya daraxti chiqindi po'stlog'i va yog'ochi asosida faollashtirib adsorbent olishning usullarining tadqiqot natijalari, shuningdek faollashtirib olingan adsorbentlarning kimyoviy va fizik-kimyoviy tadqiqot usullari, jumladan IQ-spektr va rentgenfazaviy tahlili xamda sorbentni faollashtirish jarayonida atrofga chiqariladigan gazlarning xromatografiya natijalari, shu bilan birga mo'ridan chiquvchi gazlarni tarkibidan CO₂ ni adsorbtsiyasida adsorbentlarni qo'llashning imkoniyatlari, tabiiy gazning kimyoviy tarkibi va yonishi jarayonida hosil bo'ladigan uglerod to'rt oksidining atrof-muhitga ta'sirini kamaytirish hamda tutun gazlarning fizik-kimyoviy xossalari bayon etilgan.

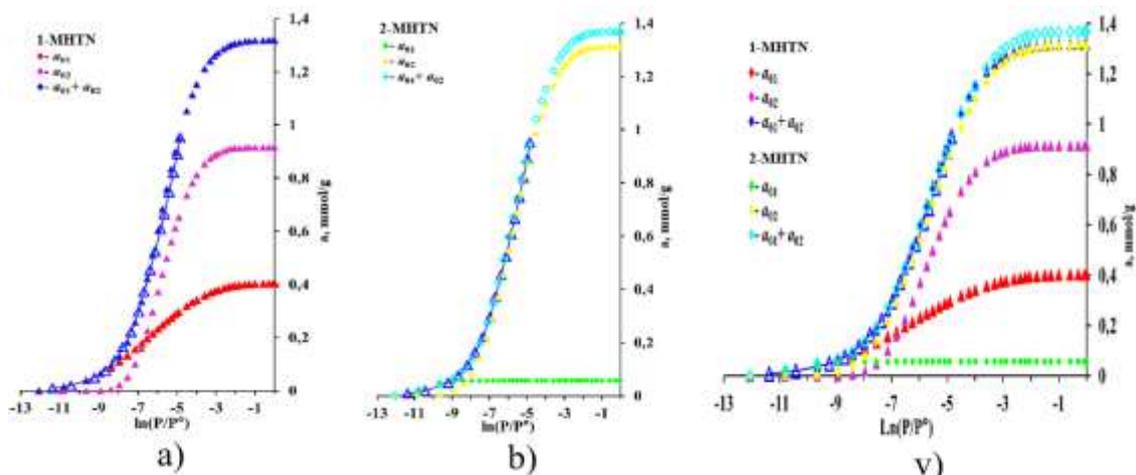
Faollashtirilgan adsorbent ishlab chiqarishda xom ashyo birinchi navbatda havo ishtirok etmagan muhitda issiqlik bilan ishlov berish orqali olinadi. Buning natijasida uchuvchi moddalar, namlik va qisman smolalar undan chiqariladi. Adsorbent hosil bo'lishi jarayonida undan chiqayotgan gazlar va smolasimon moddalarning

xromatografiyasi tadqiq etildi. Unga ko'ra smolani 100-200°C haroratda qizdirilganida ajralgan suyuqlikning tahlilida dastlabki vaqtdan boshlab 1.945 minutdan keyin $5 \cdot 10^9$ dan ortiq maydon integrallari aniqlangan bo'lib, bu maydonlarning $3 \cdot 10^7$ qismi 100 % lik ko'rsatgich bilan 265 - 297 m/z oralig'ida aniqlandi. Tahlilning davomiyligi 12 daqiqadan oshib, tahlilning dastlabki daqiqalarida qayd etilgan yuqori intensivlikdagi cho'qqi suv molekulalariga tegishli ekanligi ma'lum bo'li ular gaz holida 14.5 dan 16.5 molgacha suv bug'lari mavjudligini ko'rsatdi, chunki suv bug'lari zaryadlanmaydi. Xomashyoni piroliz usulida faollashtirish 300-400°C haroratga yetganida ajralib chiqayotgan tutunning xromatografik tahlili natijalari 1.884 daqiqadan keyin $3 \cdot 10^7$ dan ortiq maydon integrallari va 100% lik intensivlik bilan 291- 306 m/z oralig'ida suv molekulalari aniqlangan.

Dissertatsiyaning «An'anaviy usulda faollashtirilgan Pp-PAU-A va PPAU-A sorbent materiallarida uglerod IV oksidi adsorbsiyasi tadqiqi» deb nomlangan uchunchi bobida Pavlovniya daraxtidan tanlangan usullarda faollashtirilgan adsorbentlarining turli tabiatdagi adsorbatlarga nisbatan sorbsion xususiyatlari bilan asosiy termodinamik tavsiflari (ΔH , ΔF va ΔS) orasidagi bog'liqliklari adsorbsion-kalorimetrik usulda olingan ma'lumotlari asosida keltirilgan. Pavlovniya daraxtining po'stloq va yog'och chiqindilari asosida an'anaviy (termik-piroliz sharoitida, pargaz-suv bug'ining ishtirokida ma'lum sharoit ostida) va noan'anaviy (mikroto'lqinli nurlanish ta'siri orqali) usullarda faollashtirilgan uglerodli adsorbentda adsorbatning sorbsion mexanizmini nafaqat izoterma va asosiy termodinamik (ΔH , ΔF va ΔS) tavsiflarining adsorbsiya miqdoriga mos ravishda qonuniyatli o'zgarishiga qarab, balki bu faollashtirilgan adsorbentning turli tabiatga ega bo'lgan adsorbatlarning sorbsion kattaliklari qiymatlarini taqqoslash orqali ham uglerodli sorbentning faol markazlarining miqdori, kuchi va tabiatini, shuningdek sorbsion mexanizmini aniqlashning imkoniyati mavjud.

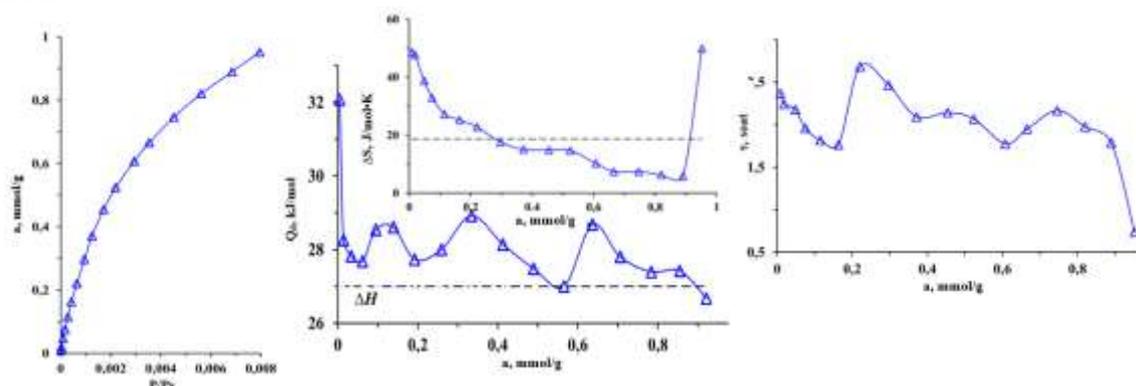
Pavlovniya po'stlog'ini pargaz faollashtirilgan uglerodli adsorbentni qisqartma ko'rinishida Pp-PAU-A kabi belgilab olindi. Pp-PAU-A adsorbentida CO₂ adsorbsiyasining logarifmik koordinatalardagi izoterma va MHTN tenglamasi tavsifi 1-rasmda keltirilgan. Izoterma egriligi dastlab past bosimlarda botiq ko'rinishda bo'lib, bu kuchli o'zaro ta'sir qiluvchi adsorbsion markazlarning mavjudligi haqida ma'lumot beradi. Pp-PAU-A adsorbentining CO₂ ga nisbatan dastlabki faol markazining miqdori 0,1 mmol/g ga teng bo'lishi va dastlabki faol markazining CO₂ molekulalari bilan monomer 1CO₂:C₁ kompleksini hosil qilishidan dalolat beradi.

Egrilik ma'lumotlari asosida keyingi yutilishlarda CO₂ molekulalarining sorbsiyalanishida $\ln(P/P_s) = -7$ (P=51 mm.sm.ust.) qiymati izoterma yuqori tomon egilishi 0,4 mmol/g gacha bo'lgan adsorbsiyada yakunlanadi. Bu adsorbsiya miqdori yuqorida bayon qilingan faollashtirilgan Pp-PAU-A adsorbenti dastlabki faol markazi miqdoridan 4 marta katta ekanligini ifodalaydi. Demak, karbonat anhidrid molekulalari faollashtirilgan ko'mirning dastlabki faol markazi bilan ketma-ket ravishda dimer 2CO₂:C₁, trimer 3CO₂:C₁ va tetramer 4CO₂:C₁ komplekslarini hosil qilishi kuzatiladi.



1-rasm. Pp-PAU-A adsorbentida CO₂ adsorbsiyasining logarifmik koordinatadagi izotermasining MHTN tenglamasi tavsifi. Δ-tajriba, ◆-MHTN tenglamasi orqali.

0,4 mmol/g adsorbsiya miqdoridan soʻng izoterma egriligi tik yuqoriga qarab chiziqli oʻzgaradi. Bu faollashtirilgan Pp-PAU-A adsorbentining bir jinsli qismida adsorbsiyalanish borishini bildiradi. Toʻliq sorbsion mexanizm tavsiflarini izotermaning P/P_s nisbiy bosim, adsorbsiya differensial issiqligi, izoterma qiymatlaridan, yaʼni Gibbs energiyasi va differensial entalpiya asosida hisoblangan entropiya oʻzgarishi qiymatlaridan va issiqlik muvozanat vaqtidan foydalanib aniqlash mumkin.



2-rasm. Pp-PAU-A adsorbentida CO₂ molekullari adsorbsiyasining P/P_s koordinatadagi izotermasi, differensial issiqligi (Q_d), differensial molyar entropiya oʻzgarishi xamda issiqlik muvozanat vaqti.

Nisbiy bosimning $\ln(P/P_s) = -4,83$ logarifmik qiymat koʻrsatkichi ($P = 430$ mm.sm.ust.) gacha izoterma qiymatlari chiziqli oʻzgarib, 0,95 mmol/gga yetgan adsorbsiya miqdorida sorbsion jarayon batamom tugaydi.

Adsorbsiya izotermasi (2-rasm) egriligi dastlabki toʻyinishlarda $P/P_s = 0,115 \cdot 10^{-6}$ nisbiy ($P = 0,62$ mm.sm.ust.) bosimida adsorbsiyaning miqdori 0,009 mmol/g ga teng. Pp-PAU-A adsorbentining aktiv markazlari miqdori 0,1 mmol/g ga karrali ekanligini, shuningdek adsorbat-adsorbent bogʻlanishning ketma-ket ravishda mono-, di-, tri- va tetramer $4CO_2:C_1$ komplekslarini hosil qilish bilan boradi. Izoterma egriligi $P/P_s = 0,008$ nisbiy ($P = 430$ mm.sm.ust.) bosim va 0,95 mmol/g adsorbsiya miqdori qiymatigacha yetkazildi. Bunda izotermaning logarifmik koordinata ($\ln(P/P_s)$) dagi va muvozanat nisbiy bosimning (P/P_s) koordinatadagi grafiklariga asosan ikki xil sorbsion mexanizm kelib chiqadi. Pp-PAU-A adsorbentida toʻliq sorbsion mexanizm tavsiflarini adsorbsiyaning differensial issiqligi, termokinetika va izoterma qiymatlaridan, yaʼni

Gibbs energiyasi orqali hamda differensial entalpiya asosida hisoblangan entropiyaning o'zgarish grafiklaridan aniqlash mumkinligi asoslanilgan. Pp-PAU-A adsorbentida adsorbsiya miqdorining nisbiy bosimga bog'liqlik izotermasi Brunauerning 1 klassifikatsiyasiga mos keladi, ya'ni bunda uglerod IV oksidining adsorbsiyasi adsorbentning faqat mikrog'ovaklarida adsorbsiyalanishini ko'rsatadi.

Karbonat angidrid molekullari Pp-PAU-A adsorbentida monomer $1\text{CO}_2:\text{C}_I$ kompleksini hosil qiladi. Pp-PAU-A adsorbenti adsorbsion hajmining to'yinishi bilan 0,2 mmol/g adsorbsiyada entalpiya 27,7 J/mol gacha kamayib dimer $2\text{CO}_2:\text{C}_I$ kompleksini, keyinchalik esa 0,3 mmol/g adsorbsiyada differensial entalpiya 29 kJ/mol gacha ortib, trimer $3\text{CO}_2:\text{C}_I$ kompleksini, adsorbsiyalanishning keyingi bosqichlarida esa 0,4 mmol/g adsorbsiya miqdorigacha entalpiyaning miqdori 28 kJ/mol gacha kamayib, $4\text{CO}_2:\text{C}_I$ kompleksini hosil qiladi. Mono va trimer, hamda 0,57 mmol/g adsorbsiya miqdorlaridan so'ng differensial issiqlikning qisman (2 kJ/mol dan kam) ortishi, boshlang'ich sohada karbonat angidrid molekullarining qayta taqsimlanishi bilan 0,64 mmol/g adsorbsiya miqdorida 2 kJ/mol ga ortadi. Bu esa uglerod IV oksidi molekullarining o'zaro Van-der-Vaals o'zaro ta'sir kuchi natijasida qo'shimcha, ya'ni induksion effekt borishi bilan issiqlik miqdorining ajralib chiqishi natijasi hisoblanadi. Ta'kidlash kerakki, CO_2 molekullarining qiymatlari Van-der-Vaals o'zaro ta'sir energiyasining nazariy hisoblangan 2 kJ/mol qiymatiga mos keladi.

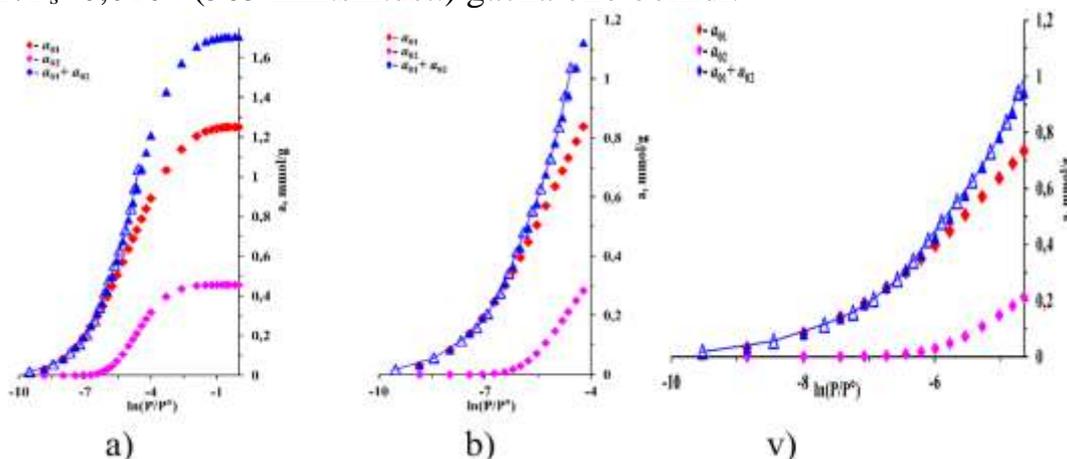
CO_2 molekullarining Pp-PAU-A adsorbenti adsorbsiyasining differensial molyar entropiyasi o'zgarishi umumiy holda 303 K haroratdagi standart sharoitdagi entropiya o'zgarishidan yuqorida joylashgan, shuningdek o'rtacha entropiya o'zgarishi 19 J/mol·Kga teng bo'lib, bunda karbonat angidrid molekullarining harakatchanligi cheklanmagan. Entropiya o'zgarishi grafigidan har bir adsorbat/adsorbent nisbatdagi molekular kompleks hosil bo'lishida entropiyaning o'zgarishi, Pp-PAU-A adsorbentida dastlabki aktiv markazi miqdori adsorbsiya differensial entalpiya, izoterma, MHTN umumiy tenglamasi asosida qayta hisoblangan adsorbsiya miqdorining muvozanat bosimga bog'liqligi tenglamalari koeffitsientlari qiymatlarining 0,1 mmol/g qiymatiga qonuniyatli ravishda o'zgarishiga mos keladi.

Tetramer $4\text{CO}_2:\text{C}_I$ kompleksidan so'ng, sorbsion hajmning to'yinishi bilan, entropiya 0,525 mmol/g adsorbsiya miqdorigacha 15 J/mol·K dan o'zgarmaydi, 0,65 mmol/g adsorbsiyada chiziqli ravishda 7 J/mol·K gacha kamayadi, ~0,775 mmol/g adsorbsiyagacha o'zgarmaydi va 0,9 mmol/g adsorbsiyada 5 J/mol·K gacha kamayadi, so'ng keskin ravishda 50 J/mol·K gacha ortib ketadi va sorbsion jarayon tugaydi. Ammo 0,9 mmol/g adsorbsiya miqdorigacha entropiyaning pog'onali yoki chiziqli o'zgarishi 0,125 mmol/gga karrali, ya'ni $0,4 \rightarrow 0,525 \rightarrow 0,65 \rightarrow 0,775 \rightarrow 0,9$ mmol/g qonuniyat asosida o'zgaradi. Bu adsorbentning keyingi faol markazi 0,125 mmol/g ga tengligidan dalolat beradi uglerod IV oksidi adsorbentning 2-faol markazi bilan $4\text{CO}_2:\text{C}_{II}$ kompleksini hosil qiladi. Entropiya o'zgarishida ham to'la adsorbsiya miqdori 0,9 mmol/g dan so'ng entropiya keskin ortib ketadi, ya'ni ular orasida bog'liqlik mavjudligidan adsorbentning ikkinchi faol markazi miqdori 0,125 mmol/gga tengligini isbotlaydi.

Muvozanat vaqti faollashtirilgan ko'mirning dastlabki faol markazida adsorbsiya izotermasi, differensial issiqligi va entropiyadagi qonuniyatli ravishda

mono -, di -, tri - va tetramer ($1\text{CO}_2:\text{C}_1\div 4\text{CO}_2:\text{C}_1$) komplekslarining hosil bo'lishidagi o'zgarishlarni to'la tasdiqlaydi. Issiqlik muvozanat vaqti keyingi karbonat anhidrid molekulalarining adsorbsiyasida adsorbentning I - va II - faol markazlariga bog'liq bo'lmagan qismda adsorbsiyalanishini ifodalaydi.

Yuqorida natijasi keltirilgan Pp-PAU-A va keyingi bob tahlilida keltiriladigan Mt-PAU-A qiymat ko'rsatkichlari kabi CO_2 ning nisbiy bosimi yuqoriligi sababli, tajriba $P/P_s=0,0104$ (565 mm.sm.ust.) gacha olib borildi.



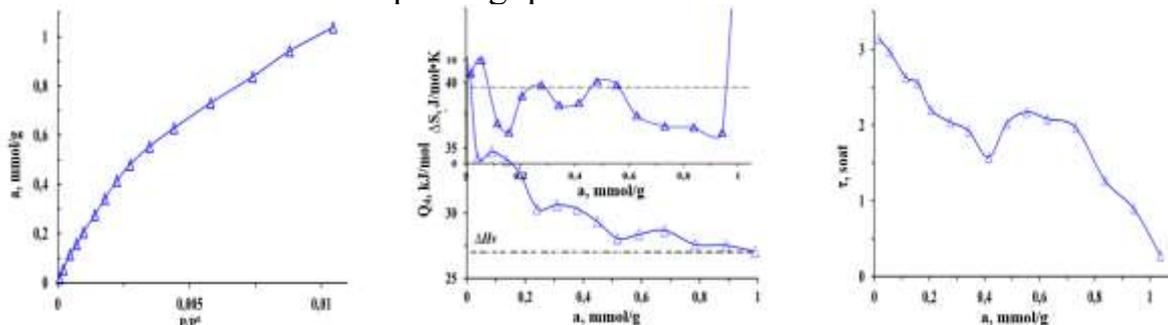
3-rasm. PPAU-A da uglerod IV oksidi molekulalari adsorbsiyasining P/P_s koordinatadagi izotermsi va uning asosida hisoblangan MHTN tenglamasi tavsifi.

Adsorbsiya izotermsining boshlang'ich sohasidan PPAU-A adsorbentida uglerod IV oksidi molekulalari Pp-PAU-A adsorbentiga nisbatan mustahkam bog'lanishda ekanligini, Mt-PAU-A ga nisbatan esa sust bog'lanishda ekanligi ko'rinadi. Umumiy holda izoterma egiluvchan ko'rinishga ega, bu mazkur pargaz faollashtirilgan adsorbentida nisbatan kuchli o'zaro ta'sir qiluvchi adsorbsion markazlarning mavjudligini ko'rsatadi. 3 rasm a), b) va v) lardan MHTN asosida hisoblangan qiymatlar tajribada olingan qiymatlarga mos kelishi ko'rinadi va tajribada olingan va MHTN ning umumiy tenglamasi asosida hisoblangan izoterma boshlang'ich sohasi (3,94 mm.sm.ust.) dan karbonat anhidridning 303 K haroratdagi to'yinish bosimigacha bo'lgan intervaldagi, shuningdek 1000 mm.sm.ust. gacha bo'lgan intervaldagi, 3 v-rasmda esa tajribada olingan intervalgacha bo'lgan sohadagi izotermalaridagi moslik ko'rinadi. Faol markazlarda CO_2 molekulalari $P/P_s=0,000464$ nisbiy bosimda monomer $1\text{CO}_2:\text{C}$ va $P/P_s=0,001$ da esa dimer $2\text{CO}_2:\text{C}$ komplekslarini hosil qiladi. Izoterma 0.5 mmol/g adsorbsiya miqdori va muvozanat bosimning nisbiyning $\text{Ln}(P/P_s)=-5,85$ ($P/P_s=0,0028$, $P\sim 150$ mm.sm.ust.) logarifmik qiymatigacha chiziqli o'zgarishi ham tasdiqlaydi, ya'ni adsorbsiyaning 0.5 mmol/g qiymatida faollashtirilgan sorbentning 0.1 mmol/gga teng aktiv markazlarida 5 tadan karbonat anhidrid molekulalari adsorbsiyalanib pentamer $5\text{CO}_2:\text{C}$ kompleksni hosil bo'lishi bilan izotermada kichik egilish kuzatiladi, ya'ni karbonat anhidrid molekulalarining sorbentning asosiy markazlaridagi sorbsiya jarayoni tugaydi. Izoterma Brunauerning 1 tur klassifikatsiyasiga mos keladi, ya'ni uglerod IV oksidi adsorbentning mikroporalarida adsorbsiyalanadi.

3-rasmdagi P/P_s logarifmik koordinatalardagi izoterma 4-rasmdagi sorbsion mexanizmni to'liq tasdiqlaydi. Boshlang'ich sohada bosim 0.1 mmol/g adsorbsiya miqdorigacha nisbatan sekin va chiziqli o'zgaradi. Bu adsorbat-adsorbent o'zaro

bog'lanishining nisbatan o'zaro kuchli bog'langanligini bildiradi. 0.1 mmol/g adsorbsiya miqdorida dastlabki kichik pog'onani bilan $1\text{CO}_2:\text{C}$ monomer kompleks, kichik egilishdan so'ng 0.5 mmol/g adsorbsiyagacha chiziqli o'zgarib $5\text{CO}_2:\text{C}$ pentamergacha bo'lgan komplekslarni hosil qiladi. 4-rasmdagi PPAU-A adsorbentida karbonat anhidrid adsorbsiyasining differensial entalpiyasi pog'onali ko'rinishga ega.

Differensial entalpiyaning $5\text{CO}_2:\text{C}$ pentamer kompleks hosil bo'lishigacha bo'lgan qonuniyatli o'zgarishlari izotermanın nisbiy bosim koordinatalaridagi chiziqli o'zgarishiga mos keladi, ya'ni Pavlovniya daraxti tana qismidan par-gaz faollashtirilgan ko'mir adsorbentining karbonat anhidridga nisbatan adsorbsion faol markazining miqdori 0.1 mmol/g ga teng ekanligini isbotlaydi. 0.1 mmol/g adsorbsiya miqdorida, ya'ni $1\text{CO}_2:\text{C}$ monomer, 0,3 mmol/g da $3\text{CO}_2:\text{C}$ trimer kompleks hosil bo'lishida differensial issiqlikning qisman ortishini 2 xil izoh berish mumkin.



4-rasm. PPAU-A adsorbentida uglerod IV oksidi molekulari adsorbsiyasining P/P_0 koordinatadagi izotermasi, differensial issiqligi (Q_d), CO_2 molekulasining adsorbsiya differensial molyar entropiya o'zgarishi hamda issiqlik muvozanat vaqti.

Mono va trimer ($n\text{CO}_2:\text{C}$) komplekslar hosil bo'lishida dastlab adsorbsiyalangan CO_2 molekularining qayta taqsimlanishidan hamda faollashtirilgan sorbentning aktiv markazida mono va trimer komplekslar hosil bo'lishi CO_2 molekularining Van-der-Vaals o'zaro ta'sir kuchi natijasida qo'shimcha issiqlik miqdorining ajralib chiqishi natijasi bilan tushuntiriladi. Bu CO_2 molekularining Van-der-Vaals o'zaro ta'sir energiyasining nazariy hisoblangan 2 kJ/mol gacha qiymatiga mos keladi. 0,5 mmol adsorbsiya miqdoridan boshlab differensial issiqlikning dastlab qisman ortishi ham adsorbat-adsorbat molekularining o'zaro Van-der-Vaals o'zaro ta'siri natijasida ajralib chiqadigan energiya bilan bog'liq hisoblanadi. 0,7 mmol/g adsorbsiya miqdorigacha Q_d qisman (29 kJ/mol gacha) ortadi, adsorbsiyaning 0,8 mmol/g va 1 mmol/g qiymatida yana 27,6 kJ/mol gacha kamayib sorbsion jarayon tugaydi. Entalpiyaning 27 kJ/mol gacha kamayishdagi adsorbsiya miqdori (0,5 mmol/g) va sorbsion jarayon tugashigacha bo'lgan adsorbsiya miqdori (~27 kJ/mol entalpiyada) bir-biriga teng.

Bunda keyingi adsorbsiyalangan 0,5 mmol/g CO_2 molekulari dastlabki adsorbsiyalangan molekular bilan ikkinchi koordinatsion sferada o'zaro adsorbat/adsorbat ($5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$) o'zaro bog'lanishda bo'ladi. Entropiya o'zgarishi grafigidan (4-rasm) har bir adsorbat/adsorbent nisbatdagi molekular kompleks hosil bo'lishida entropiyaning o'zgarishi, PPAU-A aktiv markazi miqdori adsorbsiya

izotermasi va differensial issiqligining 0,1 mmol/g qiymatiga qonuniyatli ravishda o'zgarishiga mos keladi.

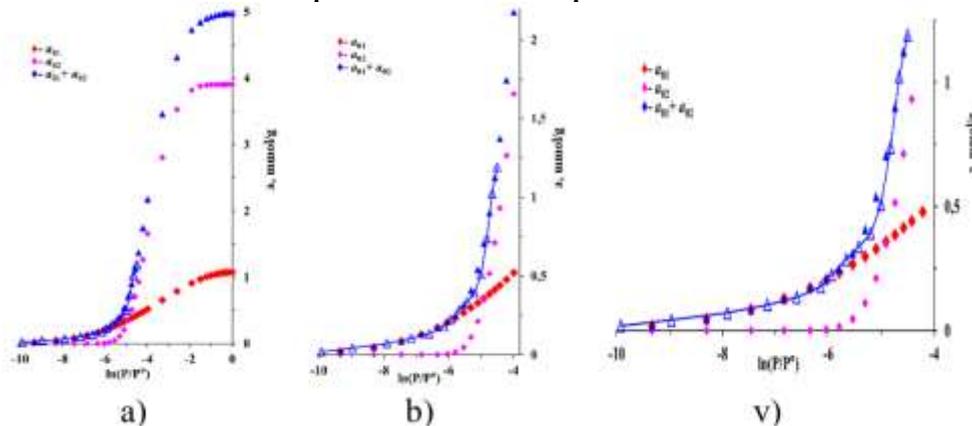
PPAU-Aning asosiy aktiv markazida monomer $1\text{CO}_2:\text{C}$ kompleks hosil bo'lgandan so'ng entropiya 0,16 mmol/g adsorbsiyada o'zining eng minimum qiymati 3 J/mol·K gacha kamayadi. 0,2 mmol/g adsorbsiyada dimer $2\text{CO}_2:\text{C}$ kompleks hosil bo'lishida molyar differensial entropiya 6,5 J/mol·K gacha ortadi, 0,3 mmol/g adsorbsiya miqdorida entropiya 7,5 J/mol·K gacha ortib trimer $3\text{CO}_2:\text{C}$ kompleks, 0,4 mmol/g adsorbsiya miqdorida entropiya 5,5 J/mol·K gacha kamayib tetramer $4\text{CO}_2:\text{C}$ kompleks va 0,5 mmol/g adsorbsiyada 8 J/mol·K entropiyada pentamer $5\text{CO}_2:\text{C}$ kompleks hosil qilish bilan asosiy faol markazda sorbsion jarayon tugaydi. Keyingi yutilishlarda esa CO_2 molekulari dastlabki adsorbsiyalangan molekular bilan o'zaro adsorbat/adsorbat ta'sirlashadi va 0,95 mmol/g adsorbsiya miqdorida entropiya 3 J/mol·K gacha kamayib uglerod IV oksidi adsorbent ichidagi harakatchanligi qisman cheklanadi va umumiy holda $\text{C}:5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$ kompleksini hosil qilib uchinchi koordinatsion sferadagi adsorbsiya, ya'ni adsorbat/adsorbat bog'lanish tugaydi. So'ng entropiya 3 J/mol·K qiymatidan keskin 47 J/mol·K gacha ortib 1,04 mmol/g adsorbsiya miqdorida PPAU-A adsorbentida karbonat anhidrid sorbsiyalanishi tugaydi. Entropiyaning 1 mmol/g adsorbsiyadan so'ng 47 J/mol·K gacha keskin ortishi uning yuqorida keltirilgan asosiy faol markazlardan tashqari, ya'ni uchinchi darajali faol markazda sorbsiyalanishi bilan bog'liqdir.

5-rasmda PPAU-A adsorbentida CO_2 molekularining adsorbsiyasi issiqlik muvozanat vaqtining adsorbsiya miqdoriga bog'liqligi keltirilgan. Kichik to'yinish sohasi (0,02 mmol/g adsorbsiya miqdori)da issiqlik muvozanat vaqti ~3,25 soatga teng. To'yinish ortib borishi bilan issiqlik muvozat vaqti 0,4 mmol/g adsorbsiyada 1,6 soatgacha deyarli chiziqli kamayib pog'ona hosil qiladi. Bu adsorbsiya miqdoridagi pog'onali o'zgarish yuqorida keltirilgan asosiy termodinamik tavsiflardagi pog'onali o'zgarishga, ya'ni 4:1 nisbatdagi $4\text{CO}_2:\text{C}$ tetramer kompleks hosil bo'lishiga mos keladi. Ammo keyingi karbonat anhidrid molekularining adsorbsiyasida issiqlik muvozanat vaqti yana orta boshlaydi. Adsorbsiyaning 0,5 mmol/g qiymatida issiqlik muvozanat vaqti 2 soatgacha ortadi. Bu $5\text{CO}_2:\text{C}$ pentamer kompleks hosil bo'lishida uglerod IV oksidi molekularining lokalizatsiyasi qiynlashganligi bilan bog'liq. 0,74 mmol/g adsorbsiyagacha issiqlik muvozanat vaqti deyarli o'zgarmaydi. So'ng 1,04 mmol/g adsorbsiyada issiqlik muvozanat vaqti 20 minutgacha keskin kamayib sorbsion jarayon tugaydi.

Dissertatsiyaning «**Noan'anaviy faollashtirilgan Mt-PAU-A sorbent materialida CO_2 sorbsiyasining termodinamik parametrlarining tadqiqi**» deb nomlangan to'rtinchi bobida import BAU-A va Pavloniya daraxti yog'och chiqindisi asosida pirolizdan keyingi mikroto'lqinli faollashtirilgan Mt-PAU-A adsorbentida CO_2 adsorbsiyasining izotermasi va asosiy termodinamik tavsiflari (ΔH , ΔF , ΔS), adsorbsion-energetik xarakteristikalari o'rtasidagi bog'liqlik va boshlang'ich sohadan to'yinish sohasigacha bo'lgan molekular mexanizmi aniqlandi va adsorbat turining adsorbsiya miqdori, energetikasi va mexanizmiga bog'liqligi keltirilgan. Mt-PAU-A adsorbentida CO_2 adsorbsiyasining logarifmik koordinatalardagi izotermasi 5-rasmda keltirilgan. Adsorbsiya izotermasidan ko'rinadiki, Mt-PAU-A adsorbentida CO_2

molekulalari boshlang'ich sohasida mustahkam bog'lanishda ekanligini hamda izoterma egiluvchan ko'rinishga ega bo'lib, bu esa Mt-PAU-A adsorbentida kuchli o'zaro ta'sir qiluvchi adsorbsion markazlarning mavjudligini ko'rsatadi.

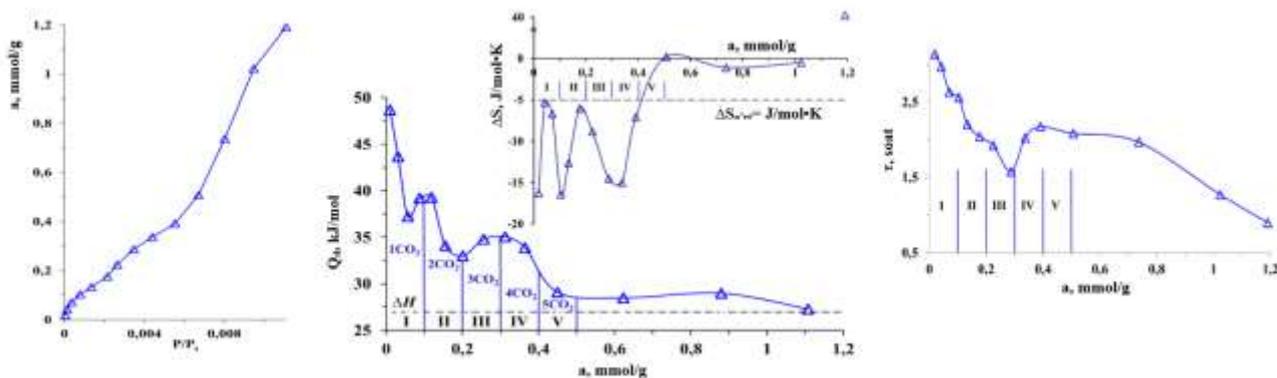
Mt-PAU-A adsorbentining CO₂ ga nisbatan faol markazining miqdori 0.1 mmol/g ga teng, ya'ni faol markazlar CO₂ molekulalari bilan ketma-ket ravishda monomer 1CO₂:C va dimer 2CO₂:C komplekslarini hosil qiladi.



5- rasm. Mt-PAU-A adsorbentida CO₂ molekulalari adsorbsiyasi izotermasi. Δ-tajriba, ◆-MHTN tenglamasi asosida.

Buni 0.4 mmol/g adsorbsiya miqdori va muvozanat bosimning nisbiyning $\ln(P/P_s)=-5,2$ ($P/P_s=0.0055$, $P\sim 300$ mm.sm.ust.) logarifmik qiymatigacha izotermaning chiziqli o'zgarishi ham tasdiqlaydi, ya'ni adsorbsiyaning 0.4 mmol/g qiymatida faollashtirilgan ko'mirning 0.1 mmol/g teng aktiv markazlarida to'rttadan CO₂ molekulalari adsorbsiyalanib tetramer 4CO₂:C kompleksini hosil qiladi. $\ln(P/P_s)=-5$ ($P/P_s=0.0067$, $P\sim 362$ mm.sm.ust.) bosim va 0.5 mmol/g adsorbsiyada qiymatida pentamer 5CO₂:C kompleksini hosil qiladi. Mt-PAU-A da CO₂ adsorbsiya izotermasining 5CO₂:C kompleksidan so'ng bosim keskin ortib borishi bilan mos ravishda izoterma tik yuqoriga ko'tariladi. Bu keyingi CO₂ molekulalarining bir jinsli ikkinchi darajali faol markazlar bilan nisbatan sust o'zaro ta'siri bilan bog'liq, ya'ni adsorbat-adsorbat o'zaro Van-der-Vaals kuchsiz ta'sir natijasida bog'lanishini ko'rsatadi.

6-rasmdagi (a-holat) P/P_s koordinatadagi izoterma logarifmik koordinatalardagi izoterma sorbsion mexanizmni tasdiqlaydi va Brunauerning 4- klassifikatsiyasiga mos keladi, ya'ni CO₂ ning adsorbsiyasi adsorbentning mezog'ovaklarida boradi. 0.1 mmol/g adsorbsiya miqdorida dastlabki kichik pog'onani 1CO₂:C monomer kompleks bilan, 0.2 mmol/g adsorbsiyagacha deyarli chiziqli o'zgarib kichik egilish bilan ikkinchi pog'ona hosil qilib 2CO₂:C dimer kompleks, 0.3 mmol/g adsorbsiya miqdorida logarifmik koordinatadagi izotermasidan farqli ravishda uchinchi pog'ona bilan 3CO₂:C trimer kompleks, keyingi kichik egilish bilan va pog'ona bilan 0.4 mmol/g adsorbsiyada 4CO₂:C tetramer kompleks, chiziqli o'zgarish bilan 0.5 mmol/g adsorbsiyada 5CO₂:C pentamer komplekslarni hosil qilib adsorbsiya boradi.

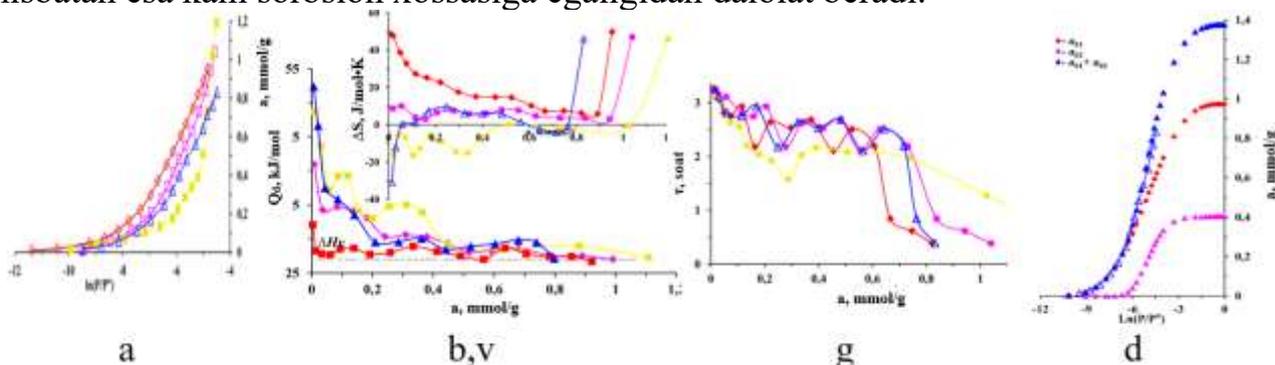


6-rasm. Mt-PAU-A adsorbentida CO₂ molekulari adsorbsiyasining P/P_s koordinatadagi izotermasi, differensial issiqligi (Q_d), differensial molyar entropiya o‘zgarishi hamda muvozanat vaqti

6-rasmda (b-holat) Mt-PAU-A adsorbentida CO₂ adsorbsiyasining differensial entalpiyasi grafigi keltirilgan va u pog‘onali ko‘rinishga ega. Izotermaning logarifmik koordinatalardagi chiziqli o‘zgarishiga va adsorbsiya miqdorining nisbiy bosim P/P_s o‘zgarishiga bog‘liqlik grafigidagi 1CO₂:C monomer kompleks hosil bo‘lishidagi pog‘onaga mos keladi, ya’ni Mt-PAU-A adsorbentining CO₂ nisbatan adsorbsion faol markazining miqdori 0.1 mmol/g ga teng ekanligini isbotlaydi. 0.1 mmol/g adsorbsiya miqdorida 1CO₂:C monomer kompleks hosil bo‘lishida differensial issiqlikning 2.3 kJ/mol ga ortishiga 2 xil izoh berish mumkin. Birinchidan to‘la 1CO₂:C monomer kompleks hosil bo‘lishida dastlab adsorbsiyalangan CO₂ molekularining qayta taqsimlanishidan, ikkinchidan Mt-PAU-A ning aktiv markazida to‘la 1CO₂:C monomer kompleks hosil bo‘lishi CO₂ molekularining Van-der-Vaals o‘zaro ta’sir kuchi natijasida qo‘shimcha issiqlik miqdori (2.3 kJ/mol) ning ajralib chiqishi natijasidir. 0,3 mmol adsorbsiya miqdorida differensial issiqlikning 33 kJ/moldan 35,04 kJ/molgacha ortishi, 0.5 mmol/g adsorbsiyada differensial issiqlikning 27 kJ/moldan 29 kJ/molgacha ortishi ham adsorbat-adsorbat molekularining o‘zaro Van-der-Vaals o‘zaro ta’siri natijasida ajralib chiqadigan energiya bilan bog‘liqdir. Keyingi karbonat anhidrid molekulari adsorbsiyasida issiqlik 2 kJ/mol ga ortib 0,3 mmol/g da 3CO₂:C dimer kompleksda pog‘onali o‘zgaradi va sorbsion hajmning to‘yinib borishi bilan adsorbsiya differensial issiqligi ~28,5 kJ/mol gacha kamayib 4-va 5- CO₂ molekulari Mt-PAU-A ning faol markazlarida ketma-ket ravishda 4CO₂:C tetramer va 5CO₂:C pentamer komplekslarini hosil qiladi. Differensial issiqlik qiymatini CO₂ ning kondensatsiya issiqligidan 1 kJ/mol ga ko‘pligi molekularning o‘zaro induksion effekt ta’sir natijasidir. Entropiya o‘zgarishi grafigidan har bir adsorbat/adsorbent nisbatdagi molekular kompleks hosil bo‘lishida entropiyaning o‘zgarishi, Mt-PAU-A aktiv markazi miqdori adsorbsiya differensial issiqligining 0,1 mmol/g qiymatiga qonuniyatli ravishda o‘zgarishiga mos keladi. Entropiyaning o‘zgarishining keskin kamayishi Mt-PAU-A ning faol markazlarida to‘la 1:1 nisbatdagi adsorbent/adsorbat monomer kompleksi hosil bo‘lishida CO₂ molekulari harakatining boshlang‘ich sohasidagi harakatchanligiga nisbatan cheklanganligini ko‘rsatadi. Adsorbsiya differensial entalpiya o‘zgarishi qiymatidan, jumladan 1 mmol/g adsorbsiya miqdorigacha Q_d ni CO₂ning kondensatsiya issiqligidan yuqoriligidan Mt-PAU-A ning aktiv markazlarida 10CO₂:C kompleks hosil bo‘lishi mumkin deb qarash mumkin. Ammo adsorbsiya differensial molyar entropiya

o'zgarishi qiymatlari grafigidan, ya'ni 0,5 mmol/g adsorbsiya miqdorida entropiyaning "nol"dan yuqoriligidan adsorbat/adsorbent penta 5CO₂:C kompleks hosil bo'lishini isbotlash mumkin.

Import BAU-A adsorbentida CO₂ adsorbsiya izotermasi Pp-PAU-A va PPAU-A adsorbentlari izotermasidan pastda joylashgan bo'lib, Mt-PAU-A adsorbentga nisbatan yuqorida joylashgan (7 (a, d)-rasm). Bu uning par-gaz usulida Pp-PAU-A va PPAU-A adsorbentga nisbatan yuqori sorbsion xossaga egaligidan, Mt-PAU-A ga nisbatan esa kam sorbsion xossasiga egaligidan dalolat beradi.



7-rasm. Import BAU-A ning Pp-PAU-A, PPAU-A va Mt-PAU-A adsorbentlarida CO₂ molekulari adsorbsiyasining to'liq termodinamik xarakteristikalarining qiyosiy tahlili

BAU-A adsorbentida CO₂ ning adsorbsiya izotermasi Brunauerning 1 tur klassifikatsiyasiga mos keladi, ya'ni CO₂ adsorbentning mikroporalarida adsorbsiyalanadi. Boshlang'ich sohadan boshlab adsorbsiya miqdorining 2 marta ortishiga bosimning 2 marta ortishi mos keladi, bu o'zgarish Mt-PAU-A, Pp-PAU-A, PPAU-A adsorbentlarga nisbatan ko'pdir. MHTN da hisoblangan nisbiy bosimning P/P_s=0,1 qismida 1,3 mmol/g CO₂ adsorbsiyalanadi. Differensial issiqlikning (7 (b, v, g)-rasm) qisman ortishi dastlabki adsorbsiyalangan CO₂ bilan keyingi adsorbsiyalangan CO₂ ning o'zaro Van-der-Vaals ta'sir kuchi natijasida qo'shimcha energiyaning ajralib chiqishi bilan tushuntiriladi. BAU-Ada adsorbsiya izotermasi, differensial issiqligi va entropiyadagi o'zgarishlarni, ya'ni Mt-PAU-A, Pp-PAU-A, PPAU-A ning barcha faol markazlarida hosil bo'ladigan C:CO₂/komplekslarga mos ravishda o'zgaradi

Xulosa

1. Mt-PAU-A, Pp-PAU-A, PPAU-A, BAU-A adsorbentlarida CO₂ molekulasining adsorbsiya izotermasi, asosiy termodinamik tavsiflari (ΔH, ΔG, ΔS), issiqlik muvozanati vaqti va izotermaning MHTNda qayta tavsiflangan qiymatlari asosida, ular faol markazlarida adsorbsiya qonuniyatlari aniqlandi.

2. Mikroto'liqlik faollashtirish usulida olingan Mt-PAU-A adsorbentining CO₂ molekulariga nisbatan sorbsion xususiyatlari, jumladan adsorbsiya entalpiyasi an'anaviy usulda faollashtirilgan Pp-PAU-A va PPAU-A, hamda import BAU-A adsorbentlaridan yuqoriligi ko'rsatildi.

3. Pavloniya po'stlog'idan an'anaviy faollashtirilgan Pp-PAU-A adsorbentida CO₂ molekulari dastlabki faol markazda 0,1 mmol/g adsorbsiya miqdoriga karrali 0,1→0,2→0,3→0,4 ravishda tetramergacha 4CO₂:C₁ komplekslarni, keyingi faol

markazda 0,125 mmol/g adsorbsiya miqdoriga karrali 0,4→0,525→0,65→0,775→0,9 ravishda tetramer $4\text{CO}_2:\text{C}_{\text{II}}$ komplekslarni hosil qilishi aniqlandi.

4. Pavloniya tana qismidan an'anaviy faollashtirib olingan PPAU-A adsorbentida CO_2 molekulari faol markazda 0,1 mmol/g adsorbsiya miqdoriga karrali pentamer $5\text{CO}_2:\text{C}_1$, shuningdek adsorbat-adsorbat sorbsiyalanib umumiy $\text{C}_1:5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$ kompleksni hosil qilishi isbotlandi.

5. An'anaviy faollashtirib olingan BAU-A adsorbentida CO_2 molekulari faol markazda 0,22 mmol/g adsorbsiya miqdoriga karrali dimer $2\text{CO}_2:\text{C}_1$, shuningdek adsorbat-adsorbat sorbsiyalanib umumiy $\text{C}_1:2\text{CO}_2:2\text{CO}_2$ kompleksni hosil qilishi isbotlandi.

6. Noan'anaviy usulda faollashtirilgan Mt-PAU-A adsorbentida CO_2 molekulari 0,1 mmol/g adsorbsiya miqdoriga karrali ravishda Pp-PAU-A, va PPAU-A larga nisbatan yuqori entalpiya bilan pentamer $5\text{CO}_2:\text{C}_1$, shuningdek umumiy $\text{C}_1:5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$ kompleksni hosil qilishi aniqlandi.

7. Mt-PAU-A da CO_2 ning adsorbsiya entropiya o'zgarishining o'rtacha qiymati Pp-PAU-A, PPAU-A, BAU-A lardagi entropiyadan va tajriba haroratidagi suyuq holdagi CO_2 entropiyasidan pastda joylashganligi, ya'ni CO_2 molekularining harakatchanligi qisman cheklanganligi aniqlandi.

8. Mt-PAU-A da CO_2 ning adsorbsiya miqdori Pp-PAU-A, PPAU-A, BAU-A larga nisbatan mos ravishda 1,24; 1,14 va 1,4 marta ko'pligi, MHTNda hisoblangan to'yinish bosimidagi adsorbsiya miqdori mos ravishda 3,8; 3 va 3,6 marta ko'pligi isbotlandi.

9. Tabiiy gaz tarkibidagi toksik molekularning faollashtirib olingan adsorbentlar g'ovaklarida sorbsiyalanishining eksperimental tadqiqotini amalga oshirish va atrof muhit muhofazasi uchun tavsiya etildi.

10. Noananaviy usul orqali faollashtirish asosida yangi adsorbent olish bo'yicha patent olindi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
DSc.03/29.08. 2023.К/Т.66.02 ПРИ НАМАНГАНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

РАХМАТУЛЛАЕВА НИГОРА ТУРГУНОВНА

**КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
УГЛЕРОДНЫХ АДсорбентов на основе местного сырья при
поглощении дымоходов из дымоходов**

02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Наманган -2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2022.4.PhD/K580

Диссертация выполнена в Ташкентском химико-технологическом институте.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.tkti.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyo.net/uz).

Научный руководитель:

Жумаева Дилноза Жураевна
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Салиханова Дилноза Саидакбаровна
доктор технических наук, профессор

Бахронов Хайт Нурувич
доктор химических наук, профессор

Ведущая организация:

Наманганский государственный университет

Защита диссертации состоится «12» ноября 2024 года в «11⁰⁰» часов на заседании Научного совета DSc.03/29.08.2023.K/T.66.02 при Наманганском инженерно-технологическом институте по адресу: 160115, г. Наманган, ул. Косонсой, 7, Тел: (0569) 228-76-71, Факс: (0569) 228-76-71; e-mail: nict_info@esh.uz.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Наманганского инженерно-технологического института под регистрационным № 321 (160115, г. Наманган, ул. Косонсой, 7, Тел: (0569) 228-76-71, Факс: (0569) 228-76-71).

Автореферат диссертации разослан «30» октября 2024 года.
(Реестр за №11 от «30» октября 2024 года).




О.К.Эргашев
Председатель научного совета
по присуждению учёной степени, д.т.н., профессор


Д.Ш.Шеркужев
Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор


И.Д.Жаметов
Заместитель председателя научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора (PhD) философии)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире промышленность различных отраслей, в частности, химической, металлургической, нефтяной и газовой, является основным источником газовых выбросов, содержащих токсичные и вредные добавки, наносящие ущерб атмосфере и окружающей среде. Использование адсорбентов, применяемых в процессах адсорбции для решения вопросов охраны окружающей среды и устранения проблем, возникающих в различных промышленных секторах, способствует очистке отходящих газов разной природы и нашло широкое применение в различных отраслях производства. В частности, в производстве ассортимента активированных адсорбентов для промышленных нужд часто используются материалы с содержанием углерода в исходном состоянии выше 76,0–86,0%, а также углеродсодержащие материалы из стеблей и веток растений, косточки фруктов, утилизированных в качестве отходов, таких как абрикос, персик, грецкий орех, а также глинистые минералы и другие побочные сырьевые отходы. Ведутся углубленные научные исследования, направленные на улучшение физико-химических свойств и адсорбционной способности таких адсорбентов, что делает их важным элементом для эффективного применения в различных отраслях промышленности.

Во всем мире ведутся научные исследования по получению сорбционных материалов, активированных на основе отходов древесных остатков и стеблей деревьев. В этом направлении осуществляется научный анализ основ применения сорбентов, используемых для решения вопросов охраны окружающей среды и сорбции вредных газов, выделяемых промышленностью и предприятиями. Для очистки отходящих газов на предприятиях используются активированные сорбенты, полученные различными методами; исследуются механизмы сорбции адсорбированных веществ для научного обоснования решений в следующих направлениях: механизм сорбции газов в адсорбентах, активированных различными методами; исследование и анализ физико-химических характеристик активированных сорбционных материалов; изучение механизма адсорбции полярных и неполярных молекул адсорбата на сорбционных материалах с высокой сорбционной способностью; а также особое внимание уделяется описанию изученных изотерм адсорбции в адсорбентах с использованием уравнений теории объемного насыщения микропор.

На уровне республики достигнуты научные и практические результаты в разработке углеродных адсорбентов с сорбционными свойствами, полученных из отходного сырья, которые заменяют импортные аналоги, и их применении для сорбции различных газовых выбросов, а также в поиске решений экологических и социальных проблем. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы, в 7-м пункте, определены такие важные задачи, как “принять меры по повышению до 2026 года на 20 процентов энергоэффективности экономики и сокращению на 20 процентов объема выброса вредных газов в атмосферу путем активного внедрения технологий «зеленой экономики» во все сферы”². В этом направлении важное значение имеет использование отходного сырья местных

² Указ Президента Республики Узбекистан УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» от 28 января 2022 года

древесных пород для получения адсорбентов с высокой сорбционной способностью, которые могут применяться для сорбции углекислого газа и сероводорода, наносящих вред окружающей среде, что позволяет решать экологические задачи с использованием коллоидно-химических методов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит осуществлению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию республики узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП-3236 от 23 августа 2017 года «О программе развития химической промышленности на 2017-2021 годы», а также другими нормативно-правовыми документами, относящимися к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Целенаправленные исследования в области получения адсорбентов, изучения механизмов адсорбции и термодинамических характеристик, процессов сорбции на цеолитах, а также выбора областей их применения широко проводятся научными школами и исследовательскими группами по всему миру. Мировые ученые активно занимаются исследованием методов активации для получения адсорбентов на основе различных сырьевых материалов, изучением процессов адсорбции, включая механизмы сорбции, с целью разработки рекомендаций для производственных предприятий. Также продолжаются исследования по синтезу цеолитов, их адсорбционным характеристикам, полным термодинамическим механизмам, а также по созданию катализаторов и их применению.

До настоящего времени мировыми учеными ведутся научные исследования по получению адсорбентов с высокими сорбционными свойствами из древесных отходов с использованием различных методов активации, которые служат для решения проблем химической промышленности, медицины и экологии. В частности, исследования по получению сорбентов из древесины ведутся такими зарубежными специалистами, как Б.Н. Кузнецов, Т.Н. Коногонов, М.И. Чудаков, Л.П. Легонова, Г.Н. Далимова. Среди зарубежных специалистов, занимающихся исследованиями по получению сорбентов из древесины, можно выделить таких ученых, как Б.Н. Кузнецов, Т.Н. Коногонов, М.И. Чудаков, Л.П. Легонова и Г.Н. Далимова, а также выдающихся исследователей, изучавших адсорбцию газов на сорбционных материалах, полученных из древесины, таких как К.В. Шеле, А.Ф. Фонтан, Т.Е. Ловис, М.М. Дубинин, А.В. Киселев, Н.Д. Зелинский, Н.А. Шилова, W.W. Wang, Ю.И. Тарасевич и других.

В Узбекистане под руководством академика К.С. Ахмедова была создана научная школа, сосредоточенная на исследовании важных научных вопросов коллоидной химии и их решениях, представители которой, такие как Э.А. Арипов, Ф.Л. Глекель, С.С. Хамраев, А.А. Агзамходжаев, С.Н. Аминов, Г.У. Рахматкариев, С.З. Муминов, Г.Р. Нарметова, У.К. Ахмедов, О.К. Эргашев, И.Д. Эшметов, Д.С. Салиханова, Д.Ж. Джумаева, А.Б. Абдикамалова, Х.Н. Бахронов и другие ученые, внесли значительный вклад в развитие этой области.

Следует особо отметить, что до настоящего времени учеными, представляющими эту научную школу, недостаточно проведено научных исследований по выбору традиционных и нетрадиционных методов активации для получения адсорбентов на основе древесных отходов Павловнии, описанию термодинамических характеристик сорбционных процессов, а также изучению механизмов сорбции вредных и токсичных веществ из газов.

Связь исследования с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, в котором была выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках практического проекта П-402104431 «Получение импортозамещающих адсорбентов на основе отходов местных древесных стеблей для использования в пищевой промышленности» в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института общей и неорганической химии.

Целью исследования является установление механизма адсорбции CO_2 на сорбентах Рр-РАУ-А, РрАУ-А и Мт-РАУ-А, активированных из древесного сырья, с использованием адсорбционно-калориметрического метода, а также разработка рекомендаций по их применению для охраны окружающей среды.

Задачи исследования:

Исследование химического состава древесной коры и стеблей, а также адсорбентов, полученных на их основе;

Изучение вредных и токсичных газов, выделяющихся в процессе пиролиза и парогазовой активации древесных отходов, с использованием метода хроматографического анализа;

Проведение физико-химических анализов активированных адсорбентов (Рр-РАУ-А, РРАУ-А, Мт-РАУ-А), включая рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопию и хроматографию;

Определение термодинамических характеристик адсорбции CO_2 на углеродных адсорбентах Рр-РАУ-А и РРАУ-А, полученных из древесной коры традиционным методом активации с использованием водяного пара;

Характеризация изотерм адсорбции CO_2 на адсорбентах Рр-РАУ-А и РРАУ-А, полученных традиционной активацией древесной коры, с применением уравнений теории объемного насыщения микропор;

Определение механизма адсорбции CO_2 на адсорбенте Мт-РАУ-А, активированном нетрадиционным методом;

Проведение сравнительного анализа термодинамических характеристик адсорбции CO_2 на активированных адсорбентах Рр-РАУ-А, РРАУ-А, Мт-РАУ-А и импортируемом адсорбенте ВАУ-А;

Экспериментальное исследование сорбции токсичных молекул из природного газа в порах активированных адсорбентов и разработка рекомендаций для охраны окружающей среды.

Объектами исследования являются неполярная молекула CO_2 , адсорбент Рр-РАУ-А, полученный на основе древесной коры, адсорбент РРАУ-А, активированный традиционным методом на основе древесины, адсорбент Мт-РАУ-А, активированный нетрадиционным методом, а также микрокалориметр Tian-Calve ДАК-1-1 и импортный аналог адсорбента ВАУ-А для сравнительного анализа

Предметом исследования является получение углеродных высокопористых адсорбентов на основе древесины, активированных различными методами, и их изучение с точки зрения коллоидно-химических свойств и термодинамических характеристик. В рамках исследования рассматриваются сорбционные закономерности и механизмы взаимодействия адсорбент-адсорбат для сорбентов Pp-PAU-A, PPAU-A, Mt-PAU-A, а также импортного аналога ВАУ-А.

Методы исследования. В выполнении данного диссертационного исследования были использованы методы определения физических и коллоидно-химических характеристик сорбентов, включая хроматографический и рентгенофазовый анализы, микрокалориметрию с использованием высоковакуумного микрокалориметра Tian-Calve ДАК-1-1, а также графический анализ результатов с помощью компьютерных программ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- определены изотермы адсорбции квадрупольной молекулы CO_2 и основные термодинамические характеристики (ΔH , ΔF , ΔS) на адсорбентах Pp-PAU-A, PPAU-A и Mt-PAU-A, что позволило выявить количество активных центров и закономерности адсорбции на них;

- доказано, что на начальном активном центре адсорбента Pp-PAU-A квадрупольная молекула CO_2 адсорбируется в виде тетрамерного комплекса $4\text{CO}_2:\text{C}_I$ до 0,1 ммоль/г, а на последующем активном центре происходит закономерная сорбция с адсорбцией в размере 0,125 ммоль/г, с образованием комплекса $4\text{CO}_2:\text{C}_{II}$;

- обосновано, что на активном центре адсорбента PPAU-A при адсорбции CO_2 образуются моно- и тримерные комплексы ($n\text{CO}_2:\text{C}$), что является результатом индукционного эффекта за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий CO_2 , сопровождающегося выделением дополнительного тепла;

- обосновано, что на адсорбенте Mt-PAU-A в первой координационной сфере образуются пентамерные комплексы $5\text{CO}_2:\text{C}$, а также комплекс общего вида $\text{C}:5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$, что свидетельствует о взаимодействии адсорбат/адсорбат во второй координационной сфере;

- доказано, что дифференциальная энтальпия адсорбции CO_2 на адсорбенте Mt-PAU-A выше, чем на Pp-PAU-A и PPAU-A, что указывает на более высокую степень активации его микропор;

- доказано, что количество адсорбции CO_2 при давлении насыщения, рассчитанное на основе уравнений теории объемного насыщения микропор (ТОЗМ), в случае Mt-PAU-A в 1,7 раза больше, чем у PPAU-A, и в 3,8 раза больше, чем у Pp-PAU-A;

- впервые разработан нетрадиционный метод активации для получения новых адсорбентов на основе отходов древесины Павловнии.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Разработана технология получения углеродного адсорбента из отходов коры дерева Павловнии путем традиционной активации с использованием водяного пара;

Установлено, что для применения в охране окружающей среды адсорбенты, активированные на основе отходов и обладающие высокой сорбционной

способностью и развитой поверхностью, эффективно сорбируют диоксид углерода, содержащийся в природном газе, до допустимого уровня;

Разработан метод использования адсорбентов, полученных традиционными и нетрадиционными методами активации, для адсорбции газов, токсичных и вредных для окружающей среды и здоровья человека (СО₂ и других).

Достоверность результатов исследования подтверждена промышленно-экспериментальным испытанием активированных сорбентов, проведенным на предприятии ООО «Farg'ona NQIZ», и полученным актом, а также справкой о поддержке, выданной высшей организацией.

Научное и практическое значение результатов исследования объясняется изучением сорбционных характеристик, основанных на изменениях удельной поверхности при традиционных и нетрадиционных методах активации остатков стеблей и веток дерева павловнии, исследованием изменений адсорбции различных вредных газов на активированных адсорбентах, а также выявлением закономерностей корреляционной связи адсорбции СО₂ в сорбентах на основе механизма взаимодействия адсорбент-адсорбат.

Практическое значение результатов исследования объясняется возможностью получения адсорбентов с высокой пористостью на основе активации отходов древесного сырья, а также оценкой их способности к очистке природных газов от СО₂. Активация отходов ветвей и коры дерева Павловния, выращиваемого на обширных плантациях нашей республики, традиционным парогазовым методом, а также активация отходов ветвей Павловнии нетрадиционным методом с использованием микроволнового излучения, позволили получить высокоуглеродные адсорбенты с полными термодинамическими характеристиками и адсорбционными свойствами для адсорбции СО₂. Благодаря высокой удельной поверхности эти адсорбенты могут служить импортозамещающими материалами.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных в ходе изучения адсорбции и основных термодинамических характеристик углеродных адсорбентов с высокой сорбционной способностью, активированных из обрезков ветвей и коры дерева павловнии с использованием микрокалориметрического оборудования:

метод получения адсорбента на основе древесного угля запатентован как полезная модель Министерством юстиции Республики Узбекистан (патент № FAP 2480 от 18.08.2023). В результате разработанный метод позволил получить сорбционные материалы нового типа, расширяя возможности производства таких сорбентов.

технология активации адсорбентов Pp-PAU-A, PPAU-A и Mt-PAU-A, полученных из древесной коры и веток, включена в «Список перспективных разработок для внедрения в 2024-2025 гг.» компании «Фергана нефть-газ» (Справка ООО «Ферганский НПЗ» № 02-03-01/135 от 13 сентября 2023 года). В результате использование адсорбентов Pp-PAU-A, PPAU-A и Mt-PAU-A на основе их основных термодинамических характеристик (ΔH , ΔF , ΔS и изотермы) позволяет получить полную информацию о механизме адсорбции и применить их в нефтегазовой отрасли для поглощения газов;

технология очистки природного газа от токсичных компонентов, таких как CO₂, с использованием высокоуглеродных адсорбентов типов Pp-PAU-A, PPAU-A и Mt-PAU-A, активированных традиционными и нетрадиционными методами, включена в «Список перспективных разработок для внедрения в 2024-2026 гг.» компании «Ферганский НПЗ» (Справка № 02-03-01/135 от 13 сентября 2023 года). Это позволит использовать данные адсорбенты для очистки природного газа до нормативного уровня содержания CO₂, что способствует импортозамещению и экономии национальной валюты.

Апробация результатов исследования. Основные результаты данного исследования обсуждались на 5 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликование результатов исследования. По теме и материалам диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 1 полезная модель, 1 монография, 6 научных статей, 2 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объём диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость исследования, связанного с темой диссертационной работы, а также сформулированы цели и задачи исследования. Показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, охарактеризованы объект и предмет исследования. Подробно изложены научная новизна и практическая значимость работы. Описаны надежность полученных результатов, их научное и практическое значение, а также представлены сведения о публикациях, связанных с выполненным научным исследованием, и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Получение, применение и анализ современного состояния активированных адсорбентов, используемых для охраны окружающей среды»** представлены научные анализы воздействия токсичных дымовых и газовых выбросов от промышленных предприятий на окружающую среду. Проведен анализ научных основ выбора сырьевых ресурсов для получения адсорбентов с высокими сорбционными свойствами, которые имеют важное значение для охраны окружающей среды. Описана роль активированных адсорбентов в процессе адсорбции вредных дымовых и газовых выбросов, а также рассмотрены вопросы применения сорбционных материалов для адсорбции вредных газов из атмосферного воздуха на основе обзора литературы.

Во второй главе диссертации **«Получение и физико-химические свойства адсорбционных материалов, используемых для сорбции токсичных газов, выбрасываемых в окружающую среду»** рассмотрены результаты исследований методов получения адсорбентов путем активации отходов коры и древесины дерева Павлония, которые являются объектом исследования. Описаны методы химического и физико-химического исследования полученных адсорбентов, включая ИК-спектроскопию и рентгенофазовый анализ, а также

результаты хроматографического анализа газов, выделяемых в процессе активации сорбента. Рассмотрены возможности использования адсорбентов для адсорбции CO_2 из дымовых газов, химический состав природного газа, и влияние углекислого газа, образующегося в процессе сгорания, на окружающую среду.

При производстве активированного адсорбента исходное сырье сначала подвергается термообработке в среде без доступа воздуха. В результате этого из сырья удаляются летучие вещества, влага и частично смолистые компоненты. В процессе формирования адсорбента была исследована хроматография газов и смолистых веществ, выделяющихся из него. Согласно результатам анализа, при нагреве смолы до температуры 100–200 °С, с момента начала эксперимента на 1,945-й минуте были обнаружены интегралы площадей более $5 \cdot 10^9$, из которых $3 \cdot 10^7$ составляли показатели с 100%-ной интенсивностью в интервале 265–297 m/z. Длительность анализа превысила 12 минут, и было установлено, что пики с высокой интенсивностью, зафиксированные в первые минуты анализа, соответствуют молекулам воды, указывая на наличие водяного пара в газовой фазе в количестве от 14,5 до 16,5 моль, так как водяной пар не ионизируется. При активации сырья методом пиролиза при температуре 300–400 °С хроматографический анализ выделяющегося дыма показал интегралы площадей более $3 \cdot 10^7$ и интенсивность 100% на отметке 1,884 минуты, где молекулы воды были обнаружены в интервале 291–306 m/z.

В третьей главе диссертации **«Исследование адсорбции диоксида углерода на сорбционных материалах Рр-РАУ-А и РРАУ-А, активированных традиционным методом»** представлены связи между сорбционными характеристиками адсорбентов, активированных из дерева павловнии выбранными методами, и их основными термодинамическими показателями (ΔH , ΔF и ΔS) в отношении адсорбатов разной природы, на основе данных, полученных адсорбционно-калориметрическим методом. На основе коры и древесных отходов павловнии, активированных как традиционными (в условиях термического пиролиза и в присутствии пара при определенных условиях), так и нетрадиционными методами (с помощью микроволнового излучения), возможно определить количество, силу и природу активных центров углеродного сорбента, а также его сорбционный механизм. Это достигается не только путем закономерного изменения количества адсорбции в соответствии с изотермой и основными термодинамическими характеристиками (ΔH , ΔF и ΔS), но и посредством сравнения сорбционных величин активированного адсорбента в отношении адсорбатов различной природы.

Углеродный адсорбент, активированный с использованием пара из коры павловнии, обозначен в сокращенной форме как Рр-РАУ-А. Логарифмическая изотерма адсорбции CO_2 на адсорбенте Рр-РАУ-А и ее описание по уравнению ТОЗМ приведены на рисунке 1. Изотерма изначально имеет вогнутую форму при низких давлениях, что указывает на наличие адсорбционных центров с сильным взаимодействием. Предполагается, что количество начальных активных центров адсорбента Рр-РАУ-А по отношению к CO_2 составляет 0,1 ммоль/г и высока вероятность образования мономерного комплекса $1\text{CO}_2:\text{C}_1$ молекулами CO_2 на этих центрах.

На основании данных об изотерме адсорбции, при дальнейших поглощениях молекул CO_2 значение $\ln(P/P_s) = -7$ ($P = 51$ мм рт. ст.) показывает,

что верхняя часть изотермы достигается при адсорбции до 0,4 ммоль/г. Это количество адсорбции в 4 раза превышает количество начальных активных центров, описанных для активированного адсорбента Рр-РАУ-А. Таким образом, наблюдается, что молекулы диоксида углерода последовательно образуют димерные $2\text{CO}_2:\text{C}_1$, тримерные $3\text{CO}_2:\text{C}_1$ и тетрамерные $4\text{CO}_2:\text{C}_1$ комплексы с начальными активными центрами активированного угля.

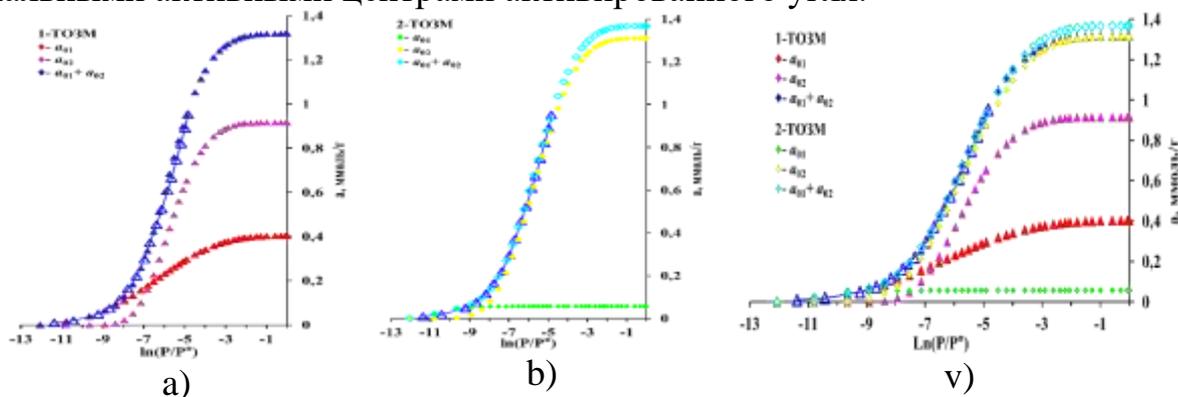


Рисунок 1. Изотерма адсорбции CO_2 на адсорбенте Рр-РАУ-А в логарифмических координатах с описанием по уравнению ТОЗМ: Δ - экспериментальные данные, \blacklozenge - по уравнению ТОЗМ

После достижения количества адсорбции в 0,4 ммоль/г изотерма изменяет кривизну, переходя в линейное возрастание, что указывает на адсорбцию в однородной части активированного адсорбента Рр-РАУ-А. Полное описание сорбционного механизма можно определить, опираясь на относительное давление P/P_s , дифференциальную теплоту адсорбции, значения изотермы, а также на изменение энтропии, рассчитанное по энергии Гиббса и дифференциальной энтальпии, и используя время теплового равновесия.

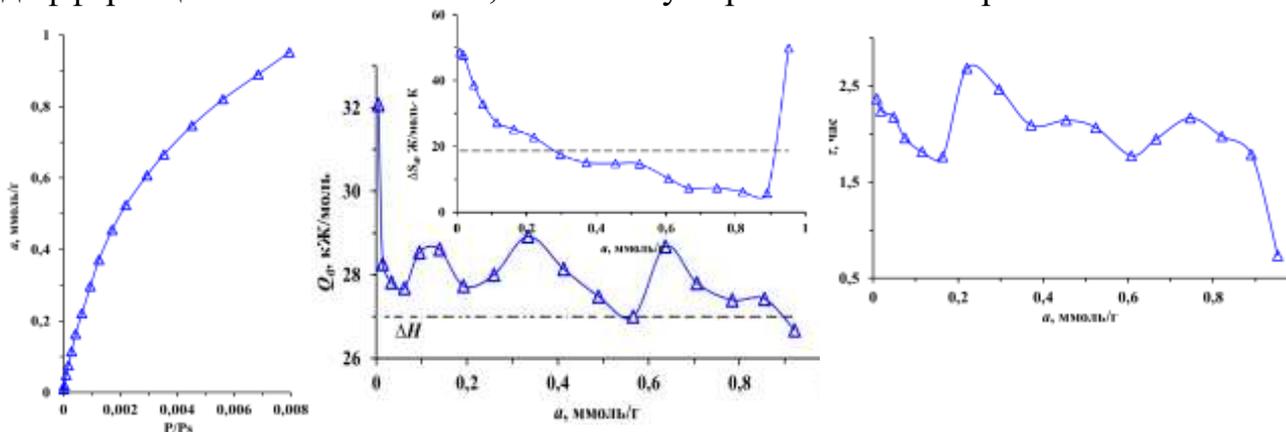


Рисунок 2. Изотерма адсорбции молекул CO_2 на адсорбенте Рр-РАУ-А в координатах P/P_s , дифференциальное тепловыделение (Q_d), изменение дифференциальной мольной энтропии, а также время теплового равновесия

При относительном давлении, когда логарифмическое значение $\text{Ln}(P/P_s)$ достигает -4,83 ($P=430$ мм рт. ст.), значения изотермы изменяются линейно, и сорбционный процесс полностью завершается при количестве адсорбции, равном 0,95 ммоль/г.

Изотерма адсорбции (рисунок 2) показывает, что на начальной стадии насыщения при относительном давлении $P/P_s=0,115 \cdot 10^{-6}$ ($P=0,62$ мм рт. ст.) количество адсорбции составляет 0,009 ммоль/г. Количество активных центров адсорбента Рр-РАУ-А кратно 0,1 ммоль/г, что указывает на последовательное

образование моно-, ди-, три- и тетрамерных комплексов $4\text{CO}_2:\text{C}_1$ в процессе связывания адсорбата с адсорбентом. Изотерма достигает значений при относительном давлении $P/P_s=0,008$ ($P=430$ мм рт. ст.) и количестве адсорбции $0,95$ ммоль/г. На основе графиков изотермы в логарифмических координатах ($\ln(P/P_s)$) и относительного давления в координатах P/P_s выявляются два различных сорбционных механизма. Обосновано, что полный сорбционный механизм на адсорбенте Pp-PAU-A можно определить по графикам изменений дифференциальной теплоты адсорбции, термокинетики и значениях изотермы, а также через энергию Гиббса и изменение энтропии, рассчитанное на основе дифференциальной энтальпии. Изотерма зависимости количества адсорбции от относительного давления на адсорбенте Pp-PAU-A соответствует классификации Брюнауэра типа I, что указывает на то, что адсорбция диоксида углерода происходит исключительно в микропорах адсорбента.

Молекулы диоксида углерода на адсорбенте Pp-PAU-A образуют мономерный комплекс $1\text{CO}_2:\text{C}_1$. По мере насыщения адсорбционного объема адсорбента Pp-PAU-A при адсорбции $0,2$ ммоль/г энтальпия снижается до $27,7$ кДж/моль, что приводит к образованию димерного комплекса $2\text{CO}_2:\text{C}_1$. В дальнейшем, при адсорбции $0,3$ ммоль/г, дифференциальная энтальпия увеличивается до 29 кДж/моль, способствуя образованию тримерного комплекса $3\text{CO}_2:\text{C}_1$. На последующих стадиях адсорбции, при достижении $0,4$ ммоль/г, энтальпия снижается до 28 кДж/моль, что указывает на образование тетрамерного комплекса $4\text{CO}_2:\text{C}_1$. Незначительное увеличение дифференциального тепловыделения (менее 2 кДж/моль) наблюдается после адсорбции моно- и тримерных комплексов, при адсорбции $0,57$ ммоль/г, и увеличивается до 2 кДж/моль при адсорбции $0,64$ ммоль/г, что связано с перераспределением молекул диоксида углерода на начальных стадиях. Это дополнительное тепловыделение обусловлено индукционным эффектом, возникающим вследствие взаимодействия между молекулами CO_2 по типу вандер-ваальсовых сил. Следует отметить, что значения энергии взаимодействия молекул CO_2 соответствуют теоретически рассчитанным значениям энергии вандер-ваальсового взаимодействия, равным 2 кДж/моль.

Изменение дифференциальной молярной энтропии адсорбции молекул CO_2 на адсорбенте Pp-PAU-A в целом располагается выше изменения энтропии при стандартных условиях при температуре 303 К. Среднее изменение энтропии составляет 19 Дж/моль·К, что указывает на неограниченную подвижность молекул диоксида углерода. Из графика изменения энтропии следует, что при образовании каждого молекулярного комплекса в соотношении адсорбат/адсорбент изменение энтропии соответствует количеству начальных активных центров на адсорбенте Pp-PAU-A. Значения коэффициентов уравнений зависимости количества адсорбции от равновесного давления, пересчитанные на основе дифференциальной энтальпии адсорбции, изотермы и общего уравнения ТОЗМ, закономерно изменяются, соответствуя величине $0,1$ ммоль/г.

После образования тетрамера $4\text{CO}_2:\text{C}_1$ и насыщения сорбционного объема значение энтропии остается постоянным на уровне 15 Дж/моль·К до количества адсорбции $0,525$ ммоль/г. При адсорбции $0,65$ ммоль/г энтропия начинает линейно снижаться до 7 Дж/моль·К, остается неизменной вплоть до $0,775$ ммоль/г, затем снижается до 5 Дж/моль·К при адсорбции $0,9$ ммоль/г. После

этого наблюдается резкий рост энтропии до 50 Дж/моль·К, что указывает на завершение сорбционного процесса. Однако до адсорбции 0,9 ммоль/г энтропия изменяется ступенчато или линейно, кратно 0,125 ммоль/г, то есть по закономерности 0,4→0,525→0,65→0,775→0,9 ммоль/г. Это свидетельствует о том, что следующий активный центр адсорбента равен 0,125 ммоль/г, и что молекулы диоксида углерода образуют комплекс $4\text{CO}_2:\text{C}_{II}$ со вторым активным центром адсорбента. Резкое увеличение энтропии после полного насыщения адсорбции на уровне 0,9 ммоль/г также указывает на связь между этими параметрами, подтверждая, что количество вторых активных центров адсорбента составляет 0,125 ммоль/г.

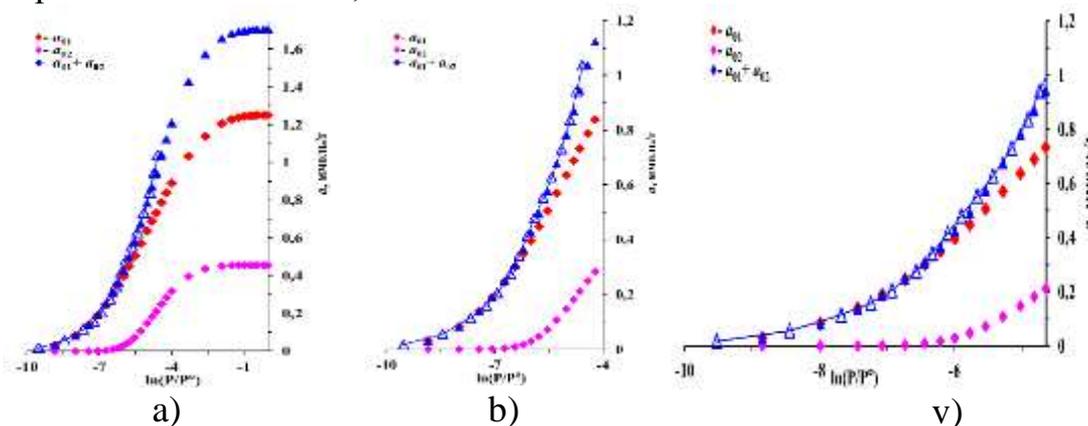


Рисунок 3. Изотерма адсорбции молекул диоксида углерода на адсорбенте PPAU-A в координатах P/Ps и её описание на основе уравнения ТОЗМ

Время достижения равновесия полностью подтверждает закономерные изменения, связанные с образованием моно-, ди-, три- и тетрамерных комплексов ($1\text{CO}_2:\text{C}_I \div 4\text{CO}_2:\text{C}_I$) на начальном активном центре активированного угля, что видно по изотерме адсорбции, дифференциальной теплоте и энтропии. Время теплового равновесия при адсорбции последующих молекул диоксида углерода указывает на адсорбцию, происходящую в областях адсорбента, не связанных с его первыми и вторыми активными центрами.

Вследствие высокого относительного давления CO_2 , как это наблюдается для Pp-PAU-A и значений, представленных в последующей главе для Mt-PAU-A, эксперимент был проведен при значении $P/P_s = 0,0104$ (565 мм рт. ст.).

Из начальной области изотермы видно, что молекулы диоксида углерода на адсорбенте PPAU-A связываются прочнее, чем на Pp-PAU-A, но слабее, чем на Mt-PAU-A. В целом изотерма имеет вогнутую форму, что указывает на наличие относительно сильных адсорбционных центров на этом парогазовым методом активированном адсорбенте. Как видно из рисунков 3 (а), (б) и (в), расчетные значения на основе ТОЗМ соответствуют экспериментальным данным, и начальная область изотермы, рассчитанная на основе общего уравнения ТОЗМ, совпадает с экспериментально полученными данными. Это согласование наблюдается в интервале от давления 3,94 мм рт. ст. до давления насыщения диоксида углерода при температуре 303 К, а также до 1000 мм рт. ст., как показано на рисунке 3 (в). Молекулы CO_2 на активных центрах образуют мономерные комплексы $1\text{CO}_2:\text{C}$ при относительном давлении $P/P_s = 0,000464$ и димерные комплексы $2\text{CO}_2:\text{C}$ при $P/P_s = 0,001$. Линейное изменение изотермы до уровня адсорбции 0,5 ммоль/г при логарифмическом значении относительного равновесного давления $\ln(P/P_s) = -5,85$ ($P/P_s = 0,0028$, $R \approx 150$ мм рт. ст.) также подтверждает, что при этом количестве адсорбции на активных центрах сорбента

с концентрацией 0,1 ммоль/г адсорбируются по пять молекул диоксида углерода, образуя пентамерный комплекс $5\text{CO}_2:\text{C}$. Это сопровождается небольшим изгибом на изотерме, что указывает на завершение процесса сорбции молекул диоксида углерода на основных активных центрах сорбента. Изотерма соответствует классификации Брюнауэра типа I, что свидетельствует о том, что адсорбция диоксида углерода происходит в микропорах адсорбента.

Изотерма в логарифмических координатах P/Ps на рисунке 3 полностью подтверждает сорбционный механизм, представленный на рисунке 4. В начальной области давления изменение происходит относительно медленно и линейно, вплоть до достижения адсорбции в 0,1 ммоль/г. Это указывает на наличие сравнительно сильного взаимодействия между адсорбатом и адсорбентом. При количестве адсорбции 0,1 ммоль/г наблюдается первая небольшая ступенька, связанная с образованием мономерного комплекса $1\text{CO}_2:\text{C}$. После небольшого изгиба изотерма продолжает линейное изменение вплоть до 0,5 ммоль/г, где образуется пентамерный комплекс $5\text{CO}_2:\text{C}$. Дифференциальная энтальпия адсорбции диоксида углерода на адсорбенте PPAU-A, представленная на рисунке 4, имеет ступенчатую форму.

Закономерные изменения дифференциальной энтальпии до образования пентамерного комплекса $5\text{CO}_2:\text{C}$ соответствуют линейному изменению изотермы в координатах относительного давления, что подтверждает, что количество адсорбционных активных центров углеродного адсорбента, активированного парогазовым методом из стволовой части дерева павлонии, составляет 0,1 ммоль/г для диоксида углерода. При количестве адсорбции 0,1 ммоль/г, образовании мономера $1\text{CO}_2:\text{C}$, и 0,3 ммоль/г при образовании тримера $3\text{CO}_2:\text{C}$ наблюдается частичное повышение дифференциальной теплоты, что можно объяснить двумя способами.

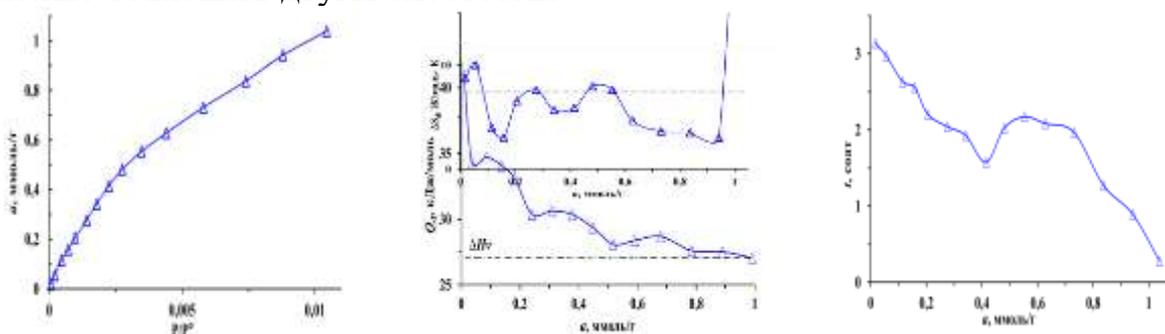


Рисунок 4. Изотерма адсорбции молекул диоксида углерода на адсорбенте PPAU-A в координатах P/Ps, дифференциальное тепловыделение (Qd), изменение дифференциальной мольной энтропии при адсорбции молекул CO_2 , а также время теплового равновесия

Образование мономерных и тримерных комплексов ($n\text{CO}_2:\text{C}$) объясняется перераспределением ранее адсорбированных молекул CO_2 и выделением дополнительного количества тепла, что связано с формированием мономерных и тримерных комплексов на активных центрах активированного сорбента. Это происходит в результате Ван-дер-ваальсовых взаимодействий между молекулами CO_2 . Это соответствует теоретически рассчитанной энергии ван-дер-ваальсовых взаимодействий молекул CO_2 , достигающей 2 кДж/моль. Начиная с количества адсорбции 0,5 ммоль/г, частичное увеличение дифференциальной теплоты также связано с выделением энергии за счет межмолекулярных ван-дер-ваальсовых взаимодействий между молекулами

адсорбата. До 0,7 ммоль/г адсорбции Q_d постепенно возрастает до 29 кДж/моль, а затем при адсорбции 0,8 ммоль/г и 1 ммоль/г снова уменьшается до 27,6 кДж/моль, что указывает на завершение сорбционного процесса. Количество адсорбции при снижении энтальпии до 27 кДж/моль (0,5 ммоль/г) равно количеству адсорбции до завершения сорбционного процесса (около 27 кДж/моль энтальпии).

При этом следующие 0,5 ммоль/г молекул CO_2 вступают во взаимосвязь с ранее адсорбированными молекулами во второй координационной сфере, формируя связи адсорбат/адсорбат ($5CO_2:5CO_2$). Из графика изменения энтропии (рисунок 4) видно, что при образовании молекулярных комплексов в каждом соотношении адсорбат/адсорбент изменение энтропии соответствует количеству активных центров РРАУ-А, изменяясь согласно изотерме адсорбции и дифференциальному тепловыделению на уровне 0,1 ммоль/г.

После образования мономерного комплекса $1CO_2:C$ на основном активном центре РРАУ-А энтропия снижается до минимального значения 3 Дж/(моль·К) при адсорбции 0,16 ммоль/г. При адсорбции 0,2 ммоль/г образование димерного комплекса $2CO_2:C$ сопровождается увеличением мольной дифференциальной энтропии до 6,5 Дж/(моль·К). На уровне адсорбции 0,3 ммоль/г энтропия возрастает до 7,5 Дж/(моль·К), образуя тримерный комплекс $3CO_2:C$. При адсорбции 0,4 ммоль/г энтропия снижается до 5,5 Дж/(моль·К), что свидетельствует об образовании тетрамерного комплекса $4CO_2:C$. При адсорбции 0,5 ммоль/г энтропия достигает 8 Дж/(моль·К), что указывает на образование пентамерного комплекса $5CO_2:C$, завершающего сорбционный процесс на основном активном центре. В дальнейших стадиях поглощения молекулы CO_2 взаимодействуют с ранее адсорбированными молекулами, образуя связи адсорбат/адсорбат. При количестве адсорбции 0,95 ммоль/г энтропия снижается до 3 Дж/моль·К, что указывает на частичное ограничение подвижности молекул диоксида углерода внутри адсорбента. В итоге формируется комплекс $C:5CO_2:5CO_2$, и адсорбция в третьей координационной сфере, то есть связи адсорбат/адсорбат, завершаются. После этого энтропия резко увеличивается с 3 Дж/(моль·К) до 47 Дж/(моль·К) при адсорбции 1,04 ммоль/г, что свидетельствует о завершении сорбции диоксида углерода на адсорбенте РРАУ-А. Резкое увеличение энтропии после 1 ммоль/г адсорбции до 47 Дж/(моль·К) связано с сорбцией на дополнительных, третьестепенных активных центрах, отличных от основных активных центров..

На рисунке 5 показана зависимость времени теплового равновесия от количества адсорбции молекул CO_2 на адсорбенте РРАУ-А. В области начального насыщения (при количестве адсорбции 0,02 ммоль/г) время теплового равновесия составляет примерно 3,25 часа. По мере увеличения насыщения время теплового равновесия практически линейно уменьшается до 1,6 часа при адсорбции 0,4 ммоль/г, образуя ступеньку. Это ступенчатое изменение количества адсорбции соответствует ступенчатому изменению основных термодинамических характеристик, упомянутому ранее, а именно образованию тетрамерного комплекса $4CO_2:C$ в соотношении 4:1. Однако при последующей адсорбции молекул диоксида углерода время теплового равновесия начинает снова увеличиваться. При количестве адсорбции 0,5 ммоль/г время теплового равновесия увеличивается до 2 часов, что связано с трудностью локализации молекул диоксида углерода при образовании

пентамерного комплекса $5\text{CO}_2:\text{C}$. До адсорбции $0,74$ ммоль/г время теплового равновесия остается практически неизменным. Затем, при адсорбции $1,04$ ммоль/г, время теплового равновесия резко уменьшается до 20 минут, что свидетельствует о завершении сорбционного процесса.

Четвертая глава диссертации «Исследование термодинамических параметров сорбции CO_2 на сорбционном материале Mt-PAU-A, активированном нетрадиционным методом» посвящена изучению адсорбции диоксида углерода на адсорбентах импортного БАУ-A и Mt-PAU-A, полученном путем микроволновой активации после пиролиза древесных отходов Павловнии. В данной главе были определены изотерма адсорбции и основные термодинамические характеристики (ΔH , ΔF , ΔS) углерода IV оксида, а также выявлена связь между адсорбционно-энергетическими характеристиками и молекулярным механизмом от начальной области до области насыщения. Кроме того, была показана зависимость между типом адсорбата, количеством адсорбции, энергетикой и механизмом процесса. Логарифмическая изотерма адсорбции CO_2 на адсорбенте Mt-PAU-A представлена на рисунке 5. Из изотермы адсорбции видно, что на начальной стадии молекулы CO_2 на адсорбенте Mt-PAU-A находятся в прочной связи, а изотерма имеет вогнутую форму, что указывает на наличие сильных адсорбционных центров на адсорбенте Mt-PAU-A.

Количество активных центров адсорбента Mt-PAU-A по отношению к CO_2 составляет $0,1$ ммоль/г. Это означает, что активные центры последовательно образуют комплексы с молекулами CO_2 , сначала формируя мономерный комплекс $1\text{CO}_2:\text{C}$, а затем димерный комплекс $2\text{CO}_2:\text{C}$.

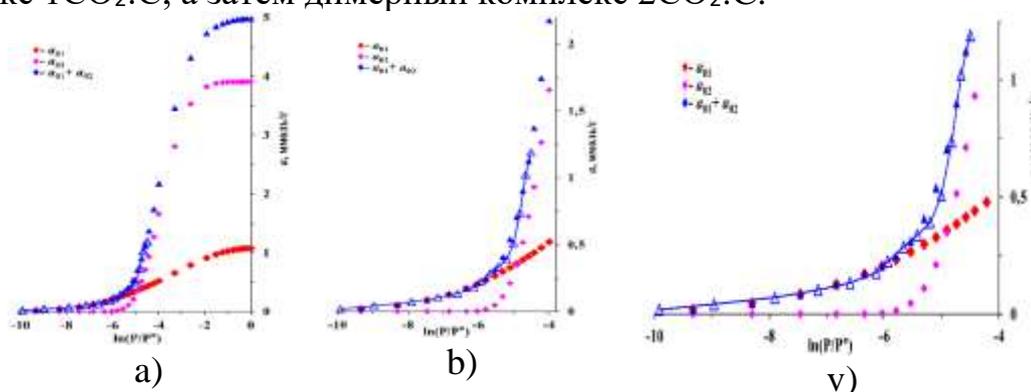


Рисунок 5. Изотерма адсорбции молекул CO_2 на адсорбенте Mt-PAU-A. Δ - экспериментальные данные, \blacklozenge - на основе уравнения ТОЗМ

Линейное изменение изотермы до значения адсорбции $0,4$ ммоль/г и логарифмического значения равновесного относительного давления $\ln(P/P_s) = -5,2$ ($P/P_s = 0,0055$, $R \approx 300$ мм рт. ст.) подтверждает это, что указывает на то, что при адсорбции $0,4$ ммоль/г на активированных центрах угля, равных $0,1$ ммоль/г, адсорбируются по четыре молекулы CO_2 , образуя тетрамерный комплекс $4\text{CO}_2:\text{C}$. При значении давления $\ln(P/P_s) = -5$ ($P/P_s = 0,0067$, $R \approx 362$ мм рт. ст.) и адсорбции $0,5$ ммоль/г образуется пентамерный комплекс $5\text{CO}_2:\text{C}$. После образования комплекса $5\text{CO}_2:\text{C}$ при дальнейшем резком увеличении давления изотерма адсорбции CO_2 на Mt-PAU-A также резко поднимается вверх. Это связано с относительно слабым взаимодействием последующих молекул CO_2 с однородными вторичными активными центрами, что указывает на их

связывание посредством слабых ван-дер-ваальсовых сил взаимодействия между адсорбатами.

Изотерма в координатах P/Ps на рисунке 6 (положение а) подтверждает сорбционный механизм в логарифмических координатах и соответствует классификации типа IV по Брюнауэру, что указывает на то, что адсорбция CO₂ происходит в мезопорах адсорбента. При количестве адсорбции 0,1 ммоль/г формируется первая небольшая ступень, соответствующая мономерному комплексу 1CO₂:С. До уровня адсорбции 0,2 ммоль/г наблюдается почти линейное изменение с небольшим изгибом, образуя вторую ступень для димерного комплекса 2CO₂:С. При 0,3 ммоль/г, в отличие от логарифмической изотермы, появляется третья ступень, соответствующая тримерному комплексу 3CO₂:С. Далее, с небольшим изгибом и образованием следующей ступени при 0,4 ммоль/г адсорбции формируется тетрамерный комплекс 4CO₂:С. При линейном изменении до уровня 0,5 ммоль/г адсорбция приводит к образованию пентамерного комплекса 5CO₂:С.

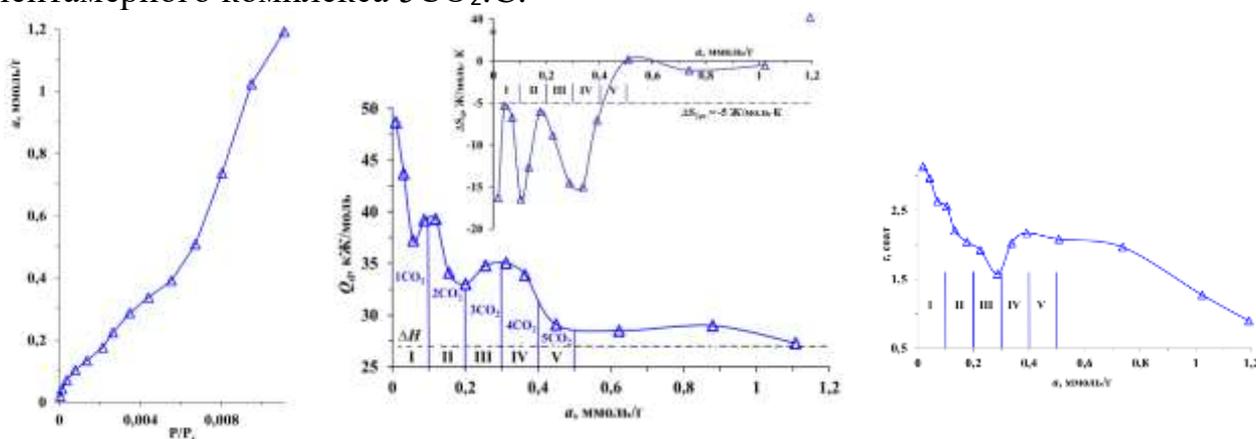


Рисунок 6. Изотерма адсорбции молекул CO₂ на адсорбенте Mt-PAU-A в координатах P/Ps, дифференциальное тепловыделение (Qd), изменение дифференциальной мольной энтропии, а также время достижения равновесия

На рисунке 6 (случай б) представлен график дифференциальной энтальпии адсорбции CO₂ на адсорбенте Mt-PAU-A, который имеет ступенчатую форму. Эти ступени соответствуют линейному изменению изотермы в логарифмических координатах и ступенчатому изменению на графике зависимости количества адсорбции от относительного давления P/Ps при образовании мономерного комплекса 1CO₂:С. Это подтверждает, что количество адсорбционных активных центров на адсорбенте Mt-PAU-A по отношению к CO₂ равно 0,1 ммоль/г.

При образовании мономерного комплекса 1CO₂:С при количестве адсорбции 0,1 ммоль/г увеличение дифференциальной теплоты на 2,3 кДж/моль можно объяснить двумя способами. Во-первых, это может быть связано с перераспределением ранее адсорбированных молекул CO₂ при полном формировании мономерного комплекса 1CO₂:С. Во-вторых, дополнительное выделение тепла (2,3 кДж/моль) является результатом ван-дер-ваальсовых взаимодействий между молекулами CO₂ при полном образовании мономерного комплекса 1CO₂:С на активных центрах Mt-PAU-A. При количестве адсорбции 0,3 ммоль/г увеличение дифференциальной теплоты с 33 кДж/моль до 35,04 кДж/моль, а также при адсорбции 0,5 ммоль/г с 27 кДж/моль до 29 кДж/моль связано с выделением энергии за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий между молекулами адсорбата. В процессе последующей адсорбции молекул CO₂ тепловой эффект возрастает на 2 кДж/моль, и при 0,3 ммоль/г образуется

ступенька на изотерме для комплекса $3\text{CO}_2:\text{C}$. По мере насыщения сорбционного объема дифференциальная теплота адсорбции уменьшается до $\sim 28,5$ кДж/моль, и молекулы CO_2 продолжают образовывать тетрамерный комплекс $4\text{CO}_2:\text{C}$ и пентамерный комплекс $5\text{CO}_2:\text{C}$ на активных центрах Mt-PAU-A. Превышение дифференциальной теплоты адсорбции на 1 кДж/моль по сравнению с теплотой конденсации CO_2 объясняется воздействием индукционного эффекта между молекулами. Из графика изменения энтропии видно, что при образовании молекулярных комплексов для каждого соотношения адсорбат/адсорбент наблюдается закономерное изменение энтропии, соответствующее количеству активных центров Mt-PAU-A при уровне дифференциальной теплоты адсорбции 0,1 ммоль/г. Резкое снижение энтропии указывает на ограничение подвижности молекул CO_2 при образовании мономерного комплекса адсорбент/адсорбат в соотношении 1:1 на активных центрах Mt-PAU-A по сравнению с их начальной подвижностью. Исходя из значений изменения дифференциальной энтальпии адсорбции, в частности, из превышения Q_d над теплотой конденсации CO_2 вплоть до уровня адсорбции 1 ммоль/г, можно предположить образование комплекса $10\text{CO}_2:\text{C}$ на активных центрах Mt-PAU-A. Однако на основании графика изменения дифференциальной молярной энтропии адсорбции, где при количестве адсорбции 0,5 ммоль/г значение энтропии находится выше "нуля", можно подтвердить образование пентакомплекса $5\text{CO}_2:\text{C}$ в соотношении адсорбат/адсорбент.

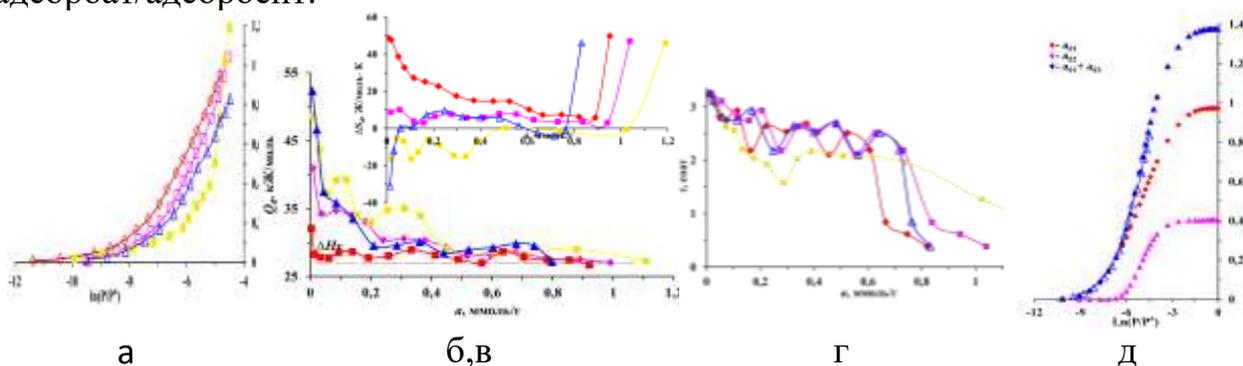


Рисунок 7. Сравнительный анализ полных термодинамических характеристик адсорбции молекул CO_2 на импортном адсорбенте BAU-A и адсорбентах Pp-PAU-A, PPAU-A и Mt-PAU-A

Изотерма адсорбции CO_2 на импортном адсорбенте BAU-A расположена ниже изотерм адсорбентов Pp-PAU-A и PPAU-A, но выше изотермы Mt-PAU-A (рисунок 7). Это указывает на то, что адсорбент BAU-A обладает более высокими сорбционными свойствами по сравнению с Mt-PAU-A, но уступает в сорбционных характеристиках адсорбентам Pp-PAU-A и PPAU-A, активированным парогазовым методом.

Изотерма адсорбции CO_2 на адсорбенте BAU-A соответствует классификации типа I по Брюнауэру, что указывает на адсорбцию CO_2 в микропорах адсорбента. В начальной области удвоение количества адсорбции соответствует двукратному увеличению давления, что выше по сравнению с изменениями на адсорбентах Mt-PAU-A, Pp-PAU-A и PPAU-A. При рассчитанном по ТОЗМ относительном давлении $P/P_s=0,1$ адсорбируется 1,3 ммоль/г CO_2 . Частичное увеличение дифференциальной теплоты объясняется выделением дополнительной энергии, возникающей вследствие ван-дер-ваальсовых взаимодействий между первоначально адсорбированными и

последующими молекулами CO_2 . На адсорбенте ВАУ-А изотерма адсорбции, дифференциальная теплота и изменения энтропии изменяются аналогично образованию комплексов $\text{C}:\text{CO}_2$ на всех активных центрах Мт-РАУ-А, Рр-РАУ-А и РРАУ-А.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе изотермы адсорбции молекул CO_2 , основных термодинамических характеристик (ΔH , ΔG , ΔS), времени теплового равновесия и пересчитанных значений изотермы по ТОЗМ для адсорбентов Мт-РАУ-А, Рр-РАУ-А, РРАУ-А и ВАУ-А были определены закономерности адсорбции на их активных центрах.

2. Показано, что сорбционные свойства адсорбента Мт-РАУ-А, полученного методом микроволновой активации, в частности, энтальпия адсорбции по отношению к молекулам CO_2 , превосходят показатели адсорбентов, активированных традиционным методом (Рр-РАУ-А и РРАУ-А), а также импортного адсорбента ВАУ-А.

3. Установлено, что на адсорбенте Рр-РАУ-А, активированном традиционным методом из коры павлонии, молекулы CO_2 на первом активном центре формируют тетрамерные комплексы $4\text{CO}_2:\text{C}_I$ с последовательным увеличением количества адсорбции 0,1 ммоль/г: 0,1→0,2→0,3→0,4 ммоль/г. На следующем активном центре при количестве адсорбции 0,125 ммоль/г молекулы образуют тетрамерные комплексы $4\text{CO}_2:\text{C}_{II}$ с увеличением в последовательности 0,4→0,525→0,65→0,775→0,9 ммоль/г.

4. Доказано, что на адсорбенте РРАУ-А, активированном из стволовой части павлонии, молекулы CO_2 на активном центре формируют пентамерный комплекс $5\text{CO}_2:\text{C}_I$ при адсорбции 0,1 ммоль/г, а также сорбируются друг с другом, образуя общий комплекс $\text{C}_I:5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$.

5. Доказано, что на адсорбенте ВАУ-А, активированном традиционным методом, молекулы CO_2 на активном центре образуют димерный комплекс $2\text{CO}_2:\text{C}_I$ при адсорбции 0,22 ммоль/г, а также сорбируются друг с другом, образуя общий комплекс $\text{C}_I:2\text{CO}_2:2\text{CO}_2$.

6. Установлено, что на адсорбенте Мт-РАУ-А, активированном нетрадиционным методом, молекулы CO_2 при адсорбции 0,1 ммоль/г образуют пентамерный комплекс $5\text{CO}_2:\text{C}_I$ с более высокой энтальпией по сравнению с Рр-РАУ-А и РРАУ-А, а также общий комплекс $\text{C}_I:5\text{CO}_2:5\text{CO}_2$.

7. Установлено, что среднее значение изменения энтропии адсорбции CO_2 на Мт-РАУ-А расположено ниже значений энтропии на адсорбентах Рр-РАУ-А, РРАУ-А, ВАУ-А и ниже энтропии жидкого CO_2 при экспериментальной температуре, что указывает на частичное ограничение подвижности молекул CO_2 .

8. Доказано, что количество адсорбции CO_2 на Мт-РАУ-А превышает аналогичные показатели на Рр-РАУ-А, РРАУ-А и ВАУ-А в 1,24; 1,14 и 1,4 раза соответственно, а количество адсорбции при рассчитанном по ТОЗМ давлении насыщения больше в 3,8; 3 и 3,6 раза соответственно.

9. Рекомендовано проведение экспериментальных исследований по сорбции токсичных молекул, содержащихся в природном газе, в порах активированных адсорбентов и их применение для охраны окружающей среды.

10. Получен патент на получение нового адсорбента методом активации с использованием нетрадиционного подхода.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREE
DSc.03/29.08.2023.K/T.66.02 AT THE NAMANGAN INSTITUTE OF
ENGINEERING AND TECHNOLOGY**

**TASHKENT INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY**

RAKHMATULLAEVA NIGORA

**COLLOIDAL-CHEMICAL ASPECTS OF THE USE OF COAL
ADSORBENTS BASED ON LOCAL RAW MATERIALS FOR THE
ABSORPTION OF FURNACE FUMES**

02.00.11 – Colloid and Membrane Chemistry

**DISSERTATION ABSTRACT
for the doctor of philosophy (PhD) CHEMICAL SCIENCES**

Namangan – 2024

The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation is registered under number B2022.4 PhD /K580 at the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation was completed at the Tashkent Institute of chemistry and technology
The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the web page of the Scientific Council (www.nammti.uz) and on the information education portal "ZiyoNet" at (www.ziynet.uz).

Research supervisor:

Jumaeva Dilnoza
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Salikhanova Dilnoza
doctor of technical sciences, professor
Bakhronov Hayat
doctor of chemical sciences, professor

Leading organization:

Namangan State University

Dissertation protection which grants scientific degrees at the Namangan Institute of engineering and technology. DSC.03/29.08.2023.K/T.66.02 Digital Science Council 2024 "12" november the clock will be held at the meeting in 11⁰⁰, Address:160115, Namangan city, Kosonsoy Street, 7. Tel.: (+99869) 228-76-75; fax: (+99869) 228-76-71, e-mail: niei_info@edu.uz.

The dissertation has been registered at the Information-resource Center of the Namangan Institute of engineering and technology (registration number№ 321). (Address:7., Kosonsoy Street 160115, Namangan) Tel.: (+99869) 228-76-75; fax: (+99869) 228-76-71)

The abstract of dissertation is distributed on "30" October 2024 year
(Protokol at the register № 11 of "30" October 2024 year)




O.K. Ergashev
Chairman of the scientific council awarding scientific degree, doctor of chemistry science, prof.


D. Sh. Sherkuziev
Scientific secretary of the scientific council awarding scientific degree doctor of technical sciences, prof.


I.D. Eshdmetov
Deputy Chairman of the scientific seminar at the scientific council for the award of a scientific degree, doctor of technical sciences, prof.

The aim of the research work is to establish the mechanism of CO₂ adsorption on the sorbents Pp-PAU-A, PPAU-A, and Mt-PAU-A, activated from woody biomass, using the adsorption-calorimetric method, as well as to develop recommendations for their application in environmental protection.

Subject of the research work is the production of high-porosity carbon adsorbents based on wood, activated by various methods, and their study in terms of colloid-chemical properties and thermodynamic characteristics. The research examines the sorption patterns and mechanisms of adsorbent-adsorbate interaction for the sorbents Pp-PAU-A, PPAU-A, Mt-PAU-A, as well as the imported analogue BAU-A.

The scientific novelty of the research is as follows:

- the adsorption isotherms of the quadrupole CO₂ molecule and the main thermodynamic characteristics (ΔH , ΔF , ΔS) on the adsorbents Pp-PAU-A, PPAU-A, and MT-PAU-A have been determined, allowing for the identification of the number of active sites and adsorption patterns.

- it has been proven that on the initial active site of the adsorbent Pp-PAU-A, the quadrupole CO₂ molecule is adsorbed as a tetramer complex, 4CO₂:C_I, up to 0.1 mmol/g, and on the subsequent active site, adsorption occurs consistently at 0.125 mmol/g, forming the 4CO₂:C_{II} complex.

- it has been substantiated that on the active site of the PPAU-A adsorbent, mono- and trimer complexes (nCO₂:C) form during CO₂ adsorption, resulting from the induction effect of van der Waals interactions of CO₂, accompanied by additional heat release.

- it has been shown that pentamer complexes 5CO₂:C form on the Mt-PAU-A adsorbent in the first coordination sphere, as well as a complex of the general form C:5CO₂:5CO₂, indicating adsorbate-adsorbate interactions in the second coordination sphere.

- the differential enthalpy of CO₂ adsorption on the Mt-PAU-A adsorbent has been proven to be higher than that of Pp-PAU-A and PPAU-A, indicating a higher degree of micropore activation.

- it has been shown that the amount of CO₂ adsorption at saturation pressure, calculated based on the volumetric micropore saturation theory (VMST) equations, is 1.7 times higher for Mt-PAU-A than for PPAU-A and 3.8 times higher than for Pp-PAU-A.

- a non-traditional activation method has been developed for the first time to obtain new adsorbents based on Paulownia wood waste.

Implementation of Research Results. Based on the scientific findings obtained from studying the adsorption and main thermodynamic characteristics of high-sorption-capacity carbon adsorbents activated from branches and bark of the Paulownia tree using microcalorimetric equipment:

the method for producing an adsorbent based on charcoal has been patented as a utility model by the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan (patent No. FAP 2480 dated 18.08.2023). As a result, the developed method enabled the production of new types of sorbent materials, expanding the possibilities for manufacturing such adsorbents.

the activation technology for the adsorbents Pp-PAU-A, PPAU-A, and Mt-PAU-A, derived from wood bark and branches, has been included in the "List of Promising Developments for Implementation in 2024-2025" by Fergana Oil and Gas (Certificate No. 02-03-01/135 dated September 13, 2023, issued by Fergana Refinery LLC). As a result, the use of Pp-PAU-A, PPAU-A, and Mt-PAU-A adsorbents, based on their main thermodynamic characteristics (ΔH , ΔF , ΔS , and isotherms), provides comprehensive information on the adsorption mechanism, enabling their application in the oil and gas industry for gas absorption;

the technology for purifying natural gas from toxic components, such as CO₂, using high-carbon adsorbents of types Pp-PAU-A, PPAU-A, and Mt-PAU-A activated by traditional and non-traditional methods, has been included in the "List of Promising Developments for Implementation in 2024-2026" by Fergana Refinery LLC (Certificate No. 02-03-01/135 dated September 13, 2023). This will allow the use of these adsorbents to purify natural gas to a standard CO₂ level, promoting import substitution and national currency savings.

Dissertation structure and volume. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used literature, notations and appendices. The length of the dissertation was 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Jumayeva D.J., Kodirov O.SH., Eshmetov I.D., Toirov O.Z., Rahmatullayeva N.T., Ochilov G.M., Shamuratova M.R., Abduraximov A.X., Ahrorova R.O., Namroqulova K.H. Фойдали модел. FAP 202302292/3, 18.04.2024.
2. Жумаева Д.Ж., Абдурахимов А.Х., Абдурахимов Х.А., Эшметов И.Д., Рахматуллаева Н.Т. Технологии получения адсорбентов на основе древесины Павлония. Монография. 2023 г. С. 170.
3. Jumayeva D.J., Abdurakhimov A.Kh., Abdurakhimov Kh.A., Rahmatullayeva N.T., Toirov O.Z. Energy of adsorption of an adsorbent in solving environmental problems. E3S Web of Conferences 288, 01082 (2021). Issue E3S Web Conf. Volume 288, 2021 International Symposium “Sustainable Energy and Power Engineering 2021” (SUSE-2021) (3) Scopus.
4. Jumayeva D.J., Toirov O.Z., Akhmedov R.K., Rahmatullayeva N.T., Eshmetov I.D. Energy of adsorption of polar molecules on NaLSX zeolite. E3S Web of Conferences 288, 01041 (2021). Issue E3S Web Conf. Volume 288, 2021 International Symposium “Sustainable Energy and Power Engineering 2021” (SUSE-2021) (2021) (3) Scopus.
5. Jumayeva D.J., Rahmatullayeva N.T., Toirov O.Z., Numonov B.O., Shamuratova M.R. Obtaining of highly energy-efficient activated carbons based on wood. E3S Web of Conferences 410, 01018 (2023) (3) Scopus.
6. Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Шамуратова М.Р., Абдурахимов А.Х., Эргашев О.К. Павлония дарахт ёғочи чиқиндиларини фаоллаштириш усуллари. Наманган муҳандислик-қурилиш институти “Механика ва технология” илмий журнали №3(3), 2022. (O‘zR Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2022 yil 01 fevraldagi №311/6 qarori bilan jurnal OAK ning ilmiy nashrlari ro‘yxatiga kiritilgan)
7. Жумаева Д. Ж., Рахматуллаева Н.Т., Абдурахимов А.А., Бабаева Г.О. Изучение физико-химических характеристик адсорбентов на основе древесины. № 4 (106) апрель, 2023 DOI 10.32743 //UniChem. 2023. 106. 4. 15125 ООО «МЦНО» (02.00.00 №2)
8. Abdurakhimov A.X., Jumaeva D.J., Abdurakhimov X.A., Rahmatullaeva N.T., Eshmetov I. D. Technology for purification of water-alcoholic solutions with wood-based adsorbents. Научно-технический журнал Наманганского инженерно-технологического института. 96-102 стр. (05.00.00. №33).

II бўлим (II часть; part II)

1. Абдурахимов А.Х., Рахматуллаева Н.Т., Жумаева Д.Ж., Абдурахимов Х.А. Physical and chemical Properties of coals for obtaining activated adsorbents. Journal of Scientific – discussion. #25, 2018. Ташкент.2018 г. С.3-6.

2. Аймурзаева Л.Г., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Жумабаев Б.А. Очистка стоков текстильного производства. Материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации» 28 февраля 2020 года стр. 56
3. Аймурзаева Л.Г., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Жумабаев Б.А. Очистка сточных вод текстильных производств «Ҳозирги Ўзбекистон шароитларида илм-фан ва инновациялар» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари I бўлим Нукус, 20 май 2020 йил 48-бет.
4. Абдурахимов А.Х., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Эшметов И.Д. Углерод асосли адсорбентларда бензол буғи адсорбцияси «Ҳозирги Ўзбекистон шароитларида илм-фан ва инновациялар» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари I бўлим Нукус, 20 май 2020 йил 52-54-бетлар.
5. Абдурахимов А.Х., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Эшметов И.Д. ИҚ-спектры адсорбентов на основе древесины. Республика миқёсидаги ёш олимлар учун ташкил этилаётган онлайн илмий ва илмий-амалий конференция. //“Кимёвий ва кимёвий технология йўналишидаги долзарб муаммолар” Тошкент-2021. 20-21 декабр. 355-357-бетлар
6. Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Фузайлова Ф.Н., Абдурахимов А.Х. Исследование макро- и микроэлементов деревьев при получении адсорбентов//2022-yil 20-sentabr “Kimyo va kimyo ta’limi muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjuman to’plami materiallari, Qo‘qon davlat pedagogika instituti. 331-333 бет.
7. Шамуратова М.Р., Ахророва Р.О., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Физико-химические показатели углеродных адсорбентов на основе местных древесин. //«Нодир ва ноёб металлар кимёси ва технологияси; бугунги ҳолати муаммолари ва истиқболлари» мавзусида Республика илмий-амалий конференцияси. 28-29 апрель. 204-205-бетлар.
8. Бойматов И.М., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Эшметов И.Д. 2023. //Межслоевая адсорбция паров органических веществ на модифицированных монтмориллонитах Кимёнинг долзарб муаммолари Профессор-ўқитувчилар ва ёш олимларнинг илмий-амалий анжумани материаллари. Тошкент. 24-25 май, 2019 й. С.65-66.
9. Носирова Н.Қ., Рахматуллаева Н.Т., Абдурахимов А.Х., Жумаева Д.Ж., Бўронова Г.Ё., Сабирова Ш.М. //Современные методы очистки сточных от нефтепродуктов. Халқаро илмий – амалий анжуман “Аграр соҳа тармоқларида электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш муаммолари”. Тошкент, 2018 йил. 28 ноябрь.33-36-бетлар.
10. Бойматов И.М., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Носирова Н.Қ. //Изотермы адсорбции пиридина и тиофена на натриевом и полигидроксиалюминиевом монтмориллонитах. XXI аср интеллектуал ёшлар асри мавзусидаги Республика илмий-амалий конференцияси 29 март 2019 йил, 51-53-бетлар.
11. Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т., Абдурахимов А.Х., Хамракулова К.Х. // Исследование изотерм адсорбции воды и этанола на активированных

адсорбентах. Научной конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния» - 2024. С. (СПФКС-2024). 91-95 стр.

12. Абдурахимов А.Х., Жумаева Д.Ж., Рахматуллаева Н.Т. Маҳаллийлаштирилаётган Павловния дарахти ёғочи чиқиндилари асосида адсорбент олиш имкониятлари //О‘zbekiston respublikasi oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi Qo‘qon davlat pedagogika instituti “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” mavzusidagi I-xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallar ii-sho‘ba to‘plami 2024-yil 22-may 190-192 бетлар.

Avtoreferat Namangan muhandislik-texnologiya instituti ilmiy-texnika jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazildi va o'zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi (29.10.2024 y.).

Bosishga ruxsat etildi: 29.10.2024 yil.
Bichimi 60x841/16, «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i 3. Adadi: 60. Buyurtma: № 31
NamIET Poligraphy MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy.

