

**QO‘QON DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJA BERUVCHI PhD.03/08.05.2025.K/T.130.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QO‘QON DAVLAT UNIVERSITETI

XAMZAXO‘JAYEV ASRORXO‘JA AXRORXO‘JA O‘G‘LI

**IKKILAMCHI ORGANIK XOM ASHYOLARI ASOSIDA YUQORI
SORBSION MATERIALLAR OLIH VA ULARNING ADSORBSION
XOSSALARINI O‘RGANISH**

02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi

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

Qo‘qon-2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundariyasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

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

Хамзахо‘jayev Asrorхо‘ja Ахрорхо‘ja о‘g‘li

Ikkilamchi organik xom ashyolari asosida yuqori sorbsion materiallar olish va ularning adsorbsion xossalarini o‘rganish 5

Хамзахужаев Асрорхужа Ахрорхужа угли

Получение высокосорбционных материалов на основе вторичного органического сырья и исследование их адсорбционных свойств 21

Khamzakhuzhaev Asrorhuzha

Preparation of high-sorption materials based on secondary organic raw materials and investigation of their adsorptive properties 39

E‘lon qilingan ilmiy ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works 43

**QO‘QON DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJA BERUVCHI PhD.03/08.05.2025.K/T.130.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QO‘QON DAVLAT UNIVERSITETI

XAMZAXO‘JAYEV ASRORXO‘JA AXRORXO‘JA O‘G‘LI

**IKKILAMCHI ORGANIK XOM ASHYOLARI ASOSIDA YUQORI
SORBSION MATERIALLAR OLIH VA ULARNING ADSORBSION
XOSSALARINI O‘RGANISH**

02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi

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

Qo‘qon-2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasida B2024.4.PhD/K902 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Qo'qon davlat universiteti bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.kokandsu.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.zionet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Payg'amov Raximjon Abdukayumovich
kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD),
dotsent

Rasmiy opponentlar:

Mamataliyev Nozim Nimadjanovich
kimyo fanlari doktori

Abdulxayev Tolibjon Dolimjonovich
kimyo fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Toshkent kimyo-texnologiya instituti

Dissertatsiya himoyasi Qo'qon davlat universiteti huzuridagi PhD.03/08.05.2025.K/T.130.04 raqamli Ilmiy kengashning «27» dekabr 2025 yil soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 150700, Qo'qon shahri, Turon ko'chasi, 23. Tel.: (+99873) 542-38-38, (+99873) 542-02-57; faks: (+99873) 542-38-38, e-mail: kokandsu@exat.uz).

Dissertatsiya bilan Qo'qon davlat universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (29-raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 150700, Qo'qon shahri, Turon ko'chasi, 23. Tel.: (+99873) 542-38-38, (+99873) 542-02-57; faks: (+99873) 542-38-38, e-mail: kokandsu@exat.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «16» dekabr kuni tarqatildi.
(2025 yil «16» dekabrda № 4 - reestr bayonnomasi)



V.U. Xo'jayev

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

N.V. Valiyev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash kotibi, PhD., dots.

G'.M. Ochilov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi, k.f.d., prof.

KIRISH (Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda ikkilamchi organik xomashyolardan olingan sorbentlar soʻnggi yillarda atrof-muhit muhofazasi va resurslarni qayta tiklash sohasida dolzarb yoʻnalishlardan biri sifatida keng oʻrganilmoqda. Bunday sorbentlar biomassa, oziq-ovqat, qogʻoz, yogʻoch, polimer va maishiy chiqindilar kabi qayta tiklanadigan manbalardan olinib, ularning tarkibidagi uglerodli birikmalar termik, kimyoviy yoki birgalikdagi faollashtirish usullari orqali yuqori gʻovaklikka ega adsorbentlarga aylantirilmoqda. Ikkilamchi organik xomashyo asosidagi sorbentlar yuqori sirt yuzasi, turli funksional guruhlarining mavjudligi hamda mikro–mezo–makro darajadagi ierarxik gʻovak tuzilishli materiallar boʻlganligi tufayli ogʻir metall ionlari, organik ifloslantiruvchilar, neft mahsulotlari va gaz aralashmalarini samarali adsorbsiyalash xususiyatiga ega. Shu bilan birga, ularning ishlab chiqarilishi arzon, ekologik xavfsiz va chiqindilarning ikkilamchi qayta ishlanishini taʼminlagani sababli, sanoat miqyosida suv va havo tozalash tizimlarida, katalitik asos sifatida hamda energiya saqlash materiallari tayyorlashda qoʻllanilishi katta ahamiyat ega.

Jahon miqyosida ekologik va iqtisodiy talablarni inobatga olgan holda qayta tiklanuvchi manbaalardan olinadigan uglerodli adsorbentlarni ishlab chiqarish borasida keng koʻlamli ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Ayniqsa, ikkilamchi organik xomashyolar chiqindilaridan foydalanish orqali arzon, ekologik toza va yuqori samarali adsorbentlar olish nafaqat atrof-muhitga zarar yetkazmaydi, balki chiqindilardan ikkilamchi xomashyo sifatida foydalanish imkonini beradi. Bu esa resurs sarfini kamaytiruvchi innovatsion yondashuvlarni joriy etish, tozalash texnologiyalarini takomillashtirish va ularning uzoq muddatli samaradorligini taʼminlash imkonini beradi. Shunday qilib, tabiiy va sanoat oqova suvlarini turli ifloslantiruvchilardan tozalash va ishlab chiqarish mahsulotlarini qoʻshimcha birikmalardan ajratish uchun ikkilamchi organik xomashyolar asosida uglerodli adsorbentlar olish texnologiyasini ishlab chiqarish ilmiy va amaliy jihatlariga alohida eʼtibor berilmoqda.

Respublikada mahalliy xomashyolar va chiqindilar asosida samarali adsorbent materiallar olish va ularni oqova suvlarni organik ifloslantiruvchi moddalar, jumladan, neft mahsulotlari va ularning hosilalari hamda boshqa barqaror organik aralashmalardan tozalash jarayonida qoʻllash boʻyicha keng koʻlamli ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Yangi Oʻzbekistonni rivojlantirish strategiyasining uchinchi yoʻnalishida belgilanganidek, “Milliy iqtisodiyot barqarorligini taʼminlash va yalpi ichki mahsulotda sanoat ulushini oshirishga qaratilgan sanoat siyosatini davom ettirib, sanoat mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini 1,4 baravarga oshirish”¹ vazifalari belgilab berilgan. Bu borada, ikkilamchi organik xomashyolar asosida uglerodli adsorbentlar olish, ularning fizik-kimyoviy va strukturaviy xossalari chuqur oʻrganish, shuningdek, faollashtirish sharoitlari, xomashyo tarkibi va hosil boʻlgan mahsulotlarning adsorbsion samaradorligi oʻrtasidagi bogʻliqlikni aniqlashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

¹ Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarga moʻljallangan Yangi Oʻzbekistonning taraqqiyot strategiyasi toʻgʻrisida» gi Farmoni

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF–60-sonli “2022–2026-yillarda Yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risida”, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025 yil 30 yanvardagi PF-16-son “O‘zbekiston - 2030» strategiyasini «Atrof-muhitni asrash va «Yashil iqtisodiyot» yilida amalga oshirishga oid davlat dasturi to‘g‘risidagi, 2024-yil 26-sentabrdagi PF–149-sonli “Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish sohalarida boshqaruv tizimini shaffofligini ta’minlash va yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonlari, 2023-yil 24-oktabrdagi PQ–343-sonli “Ichimlik suvi ta’minoti va kanalizatsiya tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi hamda 2018-yil 25-oktabrdagi PQ–3983-sonli “O‘zbekiston Respublikasida kimyo sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishi ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublikada fan va texnologiyalar rivojlantirishning VII «Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiya» ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Dunyoda uglerodli adsorbentlarni olish, modifikatsiya qilish va ularning g‘ovakli tuzilishini tadqiq qilish sohasida yo‘naltirilgan ilmiy izlanishlar qator nufuzli ilmiy maktablar tomonidan amalga oshirilmoqda. Xususan, Marsh D., Rodríguez Reinoso F., Lua A.C., Ahmadpour A., Moreno Castilla C., Bandosz T.J., Kaneko K., Lua J., Nováková I., Ziolk M. kabi olimlarning ilmiy maktablari biomassa asosidagi uglerodli sorbentlarning tekstura va funktsional xususiyatlarini, shuningdek, ularning turli ifloslantiruvchi moddalarga nisbatan adsorbtsion faolligini chuqur o‘rganishda katta hissa qo‘shgan.

O‘zbekistonda K.S. Axmedov rahbarligida adsorbtsion materiallarning g‘ovak tuzilishi va adsorbtsion xususiyatlarini o‘rganishga yo‘naltirilgan ilmiy maktab yaratilgan bo‘lib, uning vakillari E.A. Aripov, F.L. Glekel, S.S. Xamraev, S.N. Aminov, A.A. Agzamxodjaev, U.K. Axmedov, G.U. Raxmatkariev, S.Z. Muminov, B.N. Xamidov, V.P. Guro, G.R. Narmetova, S.A. Abduraximov, O.K. Ergashev, I.D. Eshmetov, Sh.A. Kuldasheva, D.S. Salixanova, A.B. Abdikamalova, D.J. Jumaeva, D.A. Xandamov, Y.Ya. Yakubov, G‘.M. Ochilov, R.A. Payg‘amov va boshqa olimlar o‘z ilmiy izlanishlari bilan mazkur yo‘nalish rivojiga salmoqli hissa qo‘shganlar.

Shuni ta’kidlash lozimki, hozirga qadar turli manbalardan, jumladan, melaminlangan qog‘oz chiqindilari asosida olingan uglerodli adsorbentlarni dastlabki karbonizatsiya va keyingi termik-kimyoviy faollashtirish sharoitlari, ularning tekstura-kimyoviy tuzilishi hamda organik ifloslantiruvchi moddalarga nisbatan selektiv adsorbtsion faolligi o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlik yetarlicha tizimli ravishda o‘rganilmagan. Shu sababli, ushbu mavzuni o‘rganish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi va milliy fan taraqqiyoti uchun yangi yo‘nalishlarni ochib beradi.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalariga bog‘liqligi. Umumiy va noorganik kimyo institutining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalariga muvofiq «Neft, neft-gaz qazib chiqarish sanoati chiqindi suvlarini tozalash uchun adsorbentlar va

reagentlar olish texnologiyasini ishlab chiqish hamda harakatchan tuproq-qum dispersiyalarida mustahkam tuzilma hosil qiluvchi reagentlar tarkibini yaratish» mavzusidagi davlat dasturi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi ikkilamchi organik xomashyolar asosida termik va kimyoviy faollashtirishni amalga oshirish, ularning tuzilishi va adsorbsion xususiyatlarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

turli xil ikkilamchi xomashyolar (melaminlangan qog'oz va avtomashina shinalari) asosida uglerodli adsorbentlar olish uchun ularni dastlabki tayyorlash, karbonizatsiya va kimyoviy faollashtirishning maqbul sharoitlarini (harorat, vaqt, faollashtiruvchi reagent miqdori) aniqlash;

sintez qilinib olingan uglerodli adsorbentlarning fizik-kimyoviy tahlillarini (IQ, rentgen difraksiyasi, TG/DTA, BET va SEM usullari) olib borish;

olingan adsorbentlarning sirt maydoni, g'ovak hajmi va taqsimoti, funksional guruhlarining mavjudligini aniqlash, shuningdek, ularning tuzilishi va tekstura parametrlarini baholash;

adsorbentlarning suv eritmalarida organik birikmalarni (fenollar, neft mahsulotlari, va boshqalar) adsorbsiyalash qobiliyatini, shu jumladan adsorbsiyaning maksimal sig'imi, samaradorligi va selektivligini aniqlash;

turli ikkilamchi xomashyo turlaridan olingan adsorbentlarni solishtirish orqali samaradorligi yuqori bo'lgan namunalarni tanlash va texnologik jarayonlarni optimallashtirish;

ishlab chiqilgan uglerodli adsorbentlarning oqova suvlarni organik birikmalardan samarali tozalashdagi amaliy qo'llanish imkoniyatlarini baholash.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida melaminlangan qog'oz hamda avtomashina shinalari chiqindilari (FK-M, FK-A) asosida termik va kimyoviy faollashtirilgan uglerodli adsorbent namunalari tanlab olingan.

Tadqiqotning predmeti ikkilamchi organik xomashyolarni fizik va kimyoviy faollashtirish sharoitlari, uglerodli adsorbentlarning adsorbsion xossalari, sanoat oqova suvlari tarkibidagi organik ifloslantiruvchilarni tozalash xususiyatlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishini bajarishda zamonaviy va an'anaviy fizik-kimyoviy (rentgenfazaviy, rentgenofluorestsent, termik va elektron-mikroskopik tahlillar) hamda kolloid-kimyoviy (adsorbsion, konduktometriya) xususiyatlarni aniqlash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ikkilamchi organik xomashyolar asosida uglerodli adsorbentlar olish jarayonida karbonizatsiya harorati va kimyoviy faollashtiruvchi modda (KOH) miqdorining g'ovakli tuzilishga ta'siri tizimli ravishda o'rganildi, 1:20 % konsentratsiya nisbatda olingan namunalarda eng yuqori darajada sirt maydoni (600-880 m²/g) hamda mikrog'ovaklarning rivojlanishi bilan ajralib turishi isbotlangan;

avtomashina shinalari va melaminlangan qog'oz chiqindisidan olingan uglerodli adsorbentlarning termik barqarorligi va faollashtirish jarayonidan keyin bo'ladigan fizik-kimyoviy o'zgarishlar IQ-spektroskopiya, XRD, TG/DTA va SEM tahlil usullari yordamida aniqlangan;

ilk bor melaminlangan qog'oz xomashyosi asosida olingan uglerodli adsorbentlarning sirt maydoni, g'ovaklar hajmi va taqsimoti, funksional guruhlarining mavjudligi shuningdek, ularning tuzilishi va tekstura parametrlari aniqlangan;

olingan uglerodli adsorbentlarning noorganik va organik birikmalarni adsorbsiyalash qobiliyatini, adsorbsiyaning maksimal sig'imini, sirt maydoni, g'ovak hajmi va taqsimoti, adsorbsiya mexanizmlari ilmiy asoslab berilgan;

neft sanoati chiqindi suvlarida sinovdan o'tkazilgan uglerodli adsorbentlar hona haroratida moy va neft mahsulotlarini 87-88 %, fenol birikmalarini 85-86 % gacha, mineral aralashmalar va suvda erigan yog'lar miqdori esa 90-97 % gacha tozalagan. Bu jarayonda suv-organik faza chegarasida molekullarning tezkor diffuziyalanishi va adsorbsiyasi hisobiga organik ifloslantiruvchi zarrachalarni yutilishi ilmiy jihatdan asoslangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilar iborat:

ikkilamchi organik xomashyolar asosida termik va kimyoviy faollantirish jarayonlarini o'tkazishning metodik asoslari ishlab chiqilgan;

olingan ikkilamchi organik xomashyolar asosidagi adsorbentlardan foydalangan holda suvli eritmalaridan organik ifloslantiruvchi birikmalarni adsorbsion usulda tozalash jarayonlarini o'tkazish uchun maqbul shart-sharoitlar ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalari bo'yicha ilmiy xulosalar zamonaviy va an'anaviy fizik-kimyoviy hamda analitik usullar yordamida olingan ilmiy ma'lumotlar bilan tasdiqlangan, ilmiy yangiliklarning amaliy natijalari esa "Farg'ona neftni qayta ishlash zavodi" MChJ laboratoriya va ishlab chiqarish sharoitlarida o'tkazilgan sinov dalolatnomalari orqali tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ikkilamchi organik xomashyolarga termik va kimyoviy faollashtirish jarayonlarining metodikasini ishlab chiqish, kaliy gidroksiddan foydalanib ko'mir namunalarini kimyoviy faollashtirish jarayonlarini maqbul sharoitlarni aniqlash hamda ushbu ilmiy asoslar maqsadli xossalarga ega uglerodli materiallarni yaratish uchun asos bo'lilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati turli muhitlarni tozalash uchun o'simlik ko'mirlarini termik hamda kimyoviy faollashtirish texnologiyasini ishlab chiqishni, oqova va tabiiy suvlarni organik ifloslantiruvchilardan zararsizlantirishga mo'ljallangan adsorbentlar olishni, shuningdek, kimyo, kimyoviy texnologiya va ekologiya sohalari bo'yicha oliy ta'lim muassasalarida bakalavr hamda magistr mutaxassislarni tayyorlash jarayonida xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Termik va kimyoviy faollashtirilgan uglerodli adsorbentlar olish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

ikkilamchi organik xomashyolar asosida termik faollashtirilgan ko'mir adsorbentlari olish usuli ishlab chiqilgan va ularni qo'llash usullari "Farg'ona neftni qayta ishlash zavodi" MChJ ning "2026-2030 yillarda amaliyotiga joriy etiladigan istiqbolli ishlanmalarni ro'yxati"ga kiritilgan ("Farg'ona neftni qayta ishlash zavodi" MChJning 2025 yil 10 sentyabrdagi 15/116-sonli ma'lumotnomasi asosida). Natijada, suv tarkibidagi moy va neft mahsulotlarini 55-62 %, fenollarni 59-68 %, og'ir metall

ionlarini 74–83 %, sulfidli birikmalarni 81–87 %, ammiak va ammoniyni esa 75–81 % gacha tozalash imkonini beradi;

termik va kimyoviy faollashtirilgan uglerodli materiallarni adsorbsion tozalash usuli amaliyotga joriy etilgan bo‘lib, u “Farg‘ona neftni qayta ishlash zavodi” MChJ da tatbiq etilgan (“Farg‘ona neftni qayta ishlash zavodi” MChJ ning 2025-yil 10-sentyabrdagi №15/116-sonli ma‘lumotnomasi asosida). Natijada termik faollantirilgan namunalarga nisbatan KOH bilan faollashtirilgan ko‘mir adsorbentlar oqova suvlar tarkibidagi organik va mineral birikmalarning tozalash samaradorligi 1,2- 1,5 marta, nazorat ko‘mir adsorbentga nisbatan esa 2 marta ortgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Ushbu tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro va 1 ta Respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 13 ta ilmiy ish chop etilgan. Jumladan, dissertatsiyaning asosiy ilmiy natijalari bo‘yicha 7 ta ilmiy maqola, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya Komissiyasi tomonidan chop etishga tavsiya etilgan jurnallarda 5 ta Respublika va 2 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

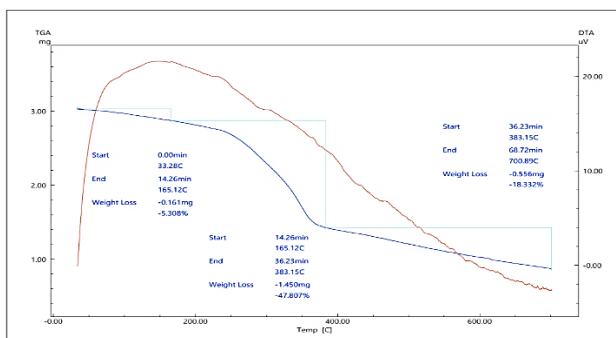
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 96 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

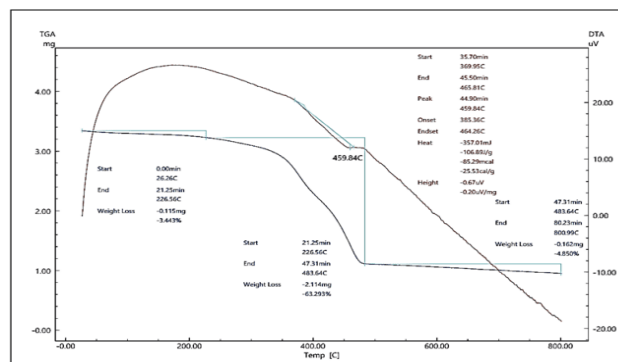
Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va ahamiyati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari bayon qilingan, tadqiqot ob‘ektlari va predmeti tavsiflangan, ishning O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi yoritilgan, ilmiy yangilik, nazariy va amaliy ahamiyati ko‘rsatilgan, olingan natijalarning joriy qilinishi, e‘lon qilingan ishlar hamda dissertatsiyaning tuzilishi haqida ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Ikkilamchi organik xomashyodan sorbentlar olish bo‘yicha zamonaviy tadqiqotlar”** deb nomlangan birinchi bobida sorbentlardan foydalanishning jahon rivojlanish yo‘nalishlari va ekologik jihatlari, sorbentlar klassifikatsiyasi va chiqindilardan olingan uglerodli materiallarning o‘rni, uglerodli materiallarining tasnifi va ularning sorbsion texnologiyalarda qo‘llanilishi, ikkilamchi organik xomashyolar asosida uglerodli adsorbentlar olishning afzalliklari va istiqbollari haqida ma‘lumotlar keltirilgan. Uglerodli sorbentlarning tuzilishi, tarkibi va xossalari ilmiy hamda amaliy asoslari ochib berilgan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot materiallari va usullari”** deb nomlangan ikkinchi bobida bobda xomashyo turlari, uni tayyorlash usullari, uglerodli sorbentlarni sintez qilish sharoitlari va ularni SEM, IQ-spektroskopiya, TG/DTA, BET usullari yordamida sirt tuzilishi va kimyoviy tarkibini o‘rganish natijalari keltirilgan.



1)

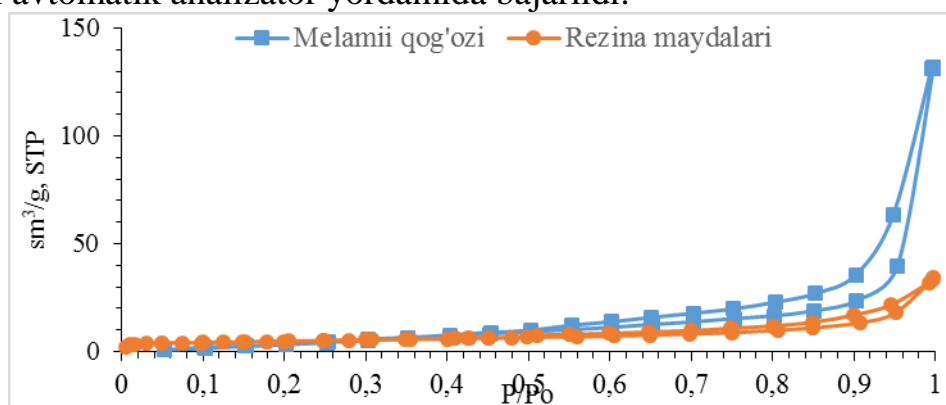


2)

1-rasm. Ikkilamchi xomashyolarning termik yaxlili: 1) Melaminlangan qog'oz; 2) Shina chiqindilari.

Uglerodli yuqori sorbsion g'ovaklik strukturasi shakllanish bosqichida yuzaga keladigan energetik barqarorlashuv jarayonlarini ifodalaydi. Bu xususiyatlar yakuniy mahsulotning adsorbsiyalovchi xossalarini, ya'ni sirt funksional guruhlarning faolligi, kislotali/asosiy markazlar soni, metall ionlar bilan kompleks hosil qilish qobiliyati kabi parametrlarni belgilab beradi.

Boshlang'ich uglerodli materiallarning teksturaviy xususiyatlari past haroratli azot adsorbsiya-desorbsiya usuli bilan aniqlangan. O'lchovlar 77 K da sorbsiya xossalarini avtomatik analizator yordamida bajarildi.



2-rasm . Namunalarda azot adsorbsiyasi-desorbsiyasi izotermalari.

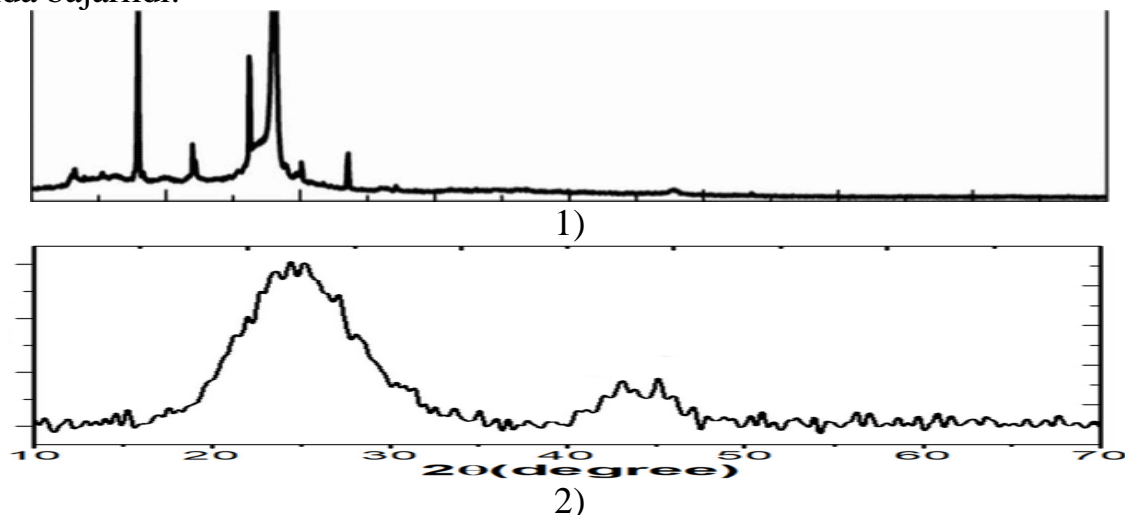
Adsorbsiya-desorbsiya izotermalaridan ko'rinib turibdiki (2-rasm), karbonizatsiyalanmagan boshlang'ich namunalarda azot bo'yicha sorbsiya sig'imi nisbatan past bo'lib, bu bosqichda sirtning cheklangan rivojlanishi bilan izohlanadi. Karbonizatsiyalanmagan melamin qog'oz uchun aniqroq ifodalangan mikro'ovakli struktura kuzatilgan bo'lsa, rezina maydalarda esa mezog'ovaklarning ustunligi qayd etildi.

3-jadval

Boshlang'ich karbonizatsiyalanmagan materiallarning teksturaviy xususiyatlari

Namuna	S_{BET} m^2/g	$V\sigma$, sm^3/g	O'rtacha g'ovak radiusi, Å	Ustun bo'lgan g'ovak diapazoni, nm
Melamin qog'oz (karb.)	17,03	0,054	22,7	14-22
Rezina maydalari (karb.)	9,83	0,026	30,5	18-21,5

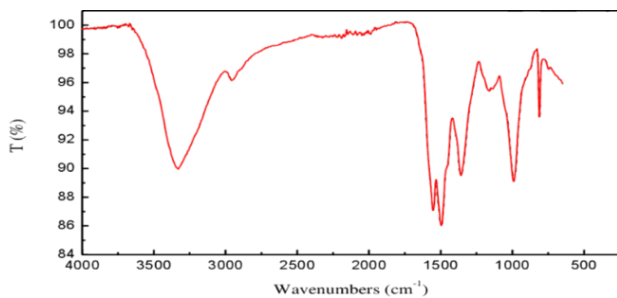
Boshlang'ich materiallarning struktura xususiyatlari rentgenofazali tahlil (XRD) va Furiye o'zgartirishli infraqizil spektroskopiya (FTIR) usullari yordamida aniqlandi. Rentgenofazali tahlil monoxromatizatsiyalangan $\text{CuK}\alpha$ nurlanishi ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) qo'llanilgan kukun difraktometrida olib borildi. O'lchovlar 2θ burchak diapazonida 5° dan 80° gacha, $0,02^\circ$ qadam bilan va har nuqtada 1 soniyalik yig'ish vaqtida bajarildi.



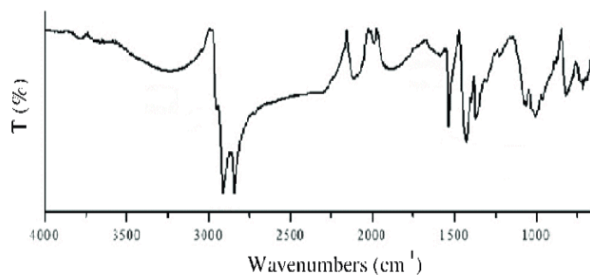
2-rasm . Namunalarning difraktogrammalari: 1) melaminlangan qog'oz; 2) shina chiqindilari.

Olingan difraktogrammalardan ko'rinib turibdiki, karbonizatsiyalanmagan melamin qog'ozida $2\theta \approx 23-24^\circ$ da joylashgan keng difraksiyon maksimum bilan xarakterlanadi, u (002) tekisligiga mos keluvchi grafitga o'xshash uglerod fazasini ifodalaydi, shuningdek $2\theta \approx 43-44^\circ$ atrofida kuzatilgan zaif maksimum (100) tekisligiga mos keladi. Bunday ko'rinish past darajadagi grafitlanish va amorf fazaning ustunligini ko'rsatadi. Rezina maydalari uchun ham shunga o'xshash rentgenografik bog'lanish kuzatildi: $2\theta \approx 24-25^\circ$ da (002) ga mos keluvchi yoyilgan pik va $2\theta \approx 43^\circ$ atrofida sust ifodalangan maksimum (100), bu esa uglerod matritsasining asosan amorf xarakterga ega ekanligini va kichik tartibli sohalarning mavjudligini tasdiqlaydi. Bragg qonuni asosida hisoblanganida, d_{002} oralig'i melamin qog'ozida uchun $\sim 0,37-0,38 \text{ nm}$, rezina maydalari uchun esa $\sim 0,36-0,37 \text{ nm}$ ni tashkil etdi, bu past strukturalashgan uglerodli materiallar uchun xosdir.

FTIR spektrlardan ko'rinib turibdiki, melamin qog'ozida uchun $3200-3500 \text{ cm}^{-1}$ oralig'ida keng tasma qayd etilgan bo'lib, u gidroksil guruhlari va adsorbsion suvning valent tebranishlariga mos keladi. $1640-1650 \text{ cm}^{-1}$ atrofidagi tasma karbonil guruhlarning tebranishlari bilan bog'liq. $1540-1560 \text{ cm}^{-1}$ oralig'ida melamin asosiga xos bo'lgan C-N tebranishlari kuzatiladi, $1230-1270 \text{ cm}^{-1}$ dagi tasma esa efir bog'laridagi C-O-C tebranishlariga tegishlidir. Rezina maydalari spektrida ham 3400 cm^{-1} sohasida -OH guruhlari uchun mos keluvchi sust tasma, 2850 va 2920 cm^{-1} da esa alifatik zanjirlardagi C-H valent tebranishlariga mos intensiv tasma qayd etildi. $1630-1640 \text{ cm}^{-1}$ da aromatik va vinil fragmentlarga xos C=C tebranishlari, shuningdek 1030 cm^{-1} dagi tasma C-O tebranishlari bilan bog'liqdir.



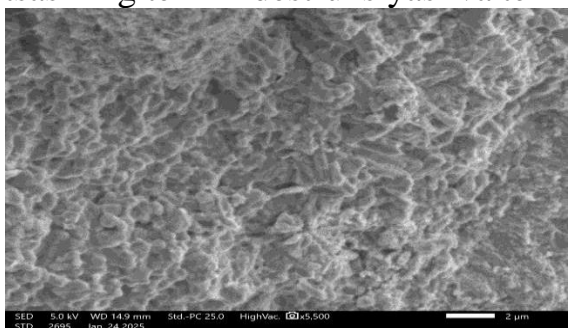
1)



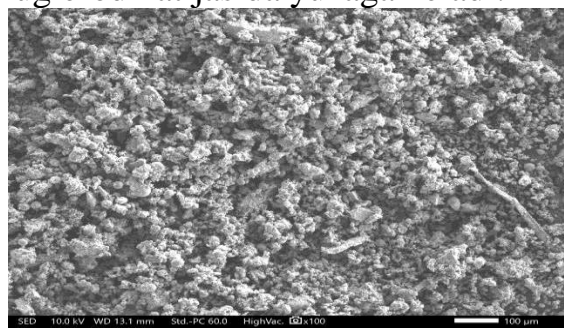
2)

3-rasm . Namunalarining IK-spektrlari: 1) melaminlangan qog‘oz; 2) shina chiqindilari.

Melamin qog‘ozi nisbatan silliq yuzaga ega bo‘lib, unda mayda g‘ovakli struktura kuzatildi, bu esa selluloza karkasining va melamin-formaldegid smolasini ko‘rsatadi. Rezina maydalari esa dastlabki holatida makro- va mezorelyefli yuzasi, shuningdek, yoriqlangan struktura bilan ajralib turadi, bunday ko‘rinish kauchuk matritsasining termik destruksiyasi va texnik uglerod natijasida yuzaga keladi.



Melamin qogozı

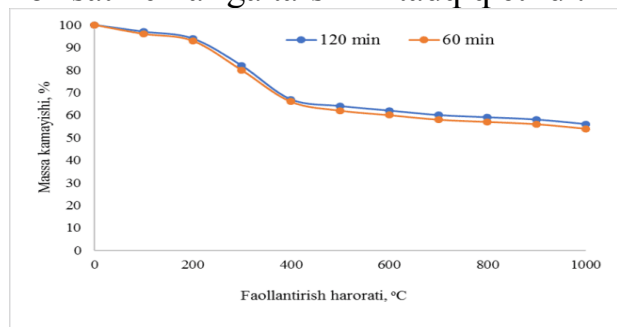


Shina maydalari

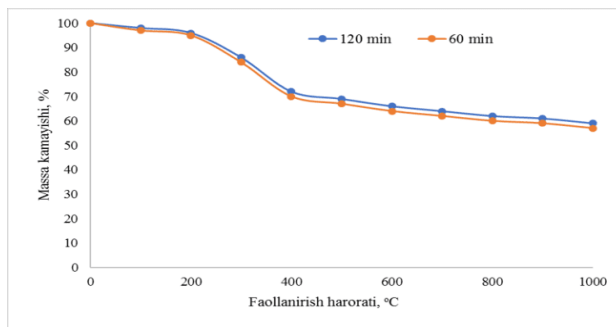
4-rasm. Termik ishlangan namunalarning mikrotasvirlari.

“Ikkilamchi xomashyolar asosida uglerodli adsorbentlar olish va ularning strukturaviy xususiyatlari” mavzusidagi uchinchi bobda melaminlangan qog‘oz va shina chiqindisi asosida ko‘mir adsorbent olish, olingan namunalarni fizik-kimyoviy xususiyatlari, adsorbentlarda past haroratli azot, benzol molekullari adsorbsiyasini tahlil qilish, BET, t-Plot, HK, Temkin kabi modellar parametrlarini aniqlash va asosiy sorbsiya mexanizmlarini aniqlash kabi muhim natijalar keltirilgan .

Dastlab ikkilamchi xomashyolarni termik faollantirish jarayonidagi parametrlar (harorat, vaqt) o‘zgarishini o‘rganish maqsadida hosil bo‘lish unumdorligini piroliz davomiyligiga ta‘sirini hamda olingan uglerodli materiallarning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlariga ta‘sirini tadqiq etildi.



1)

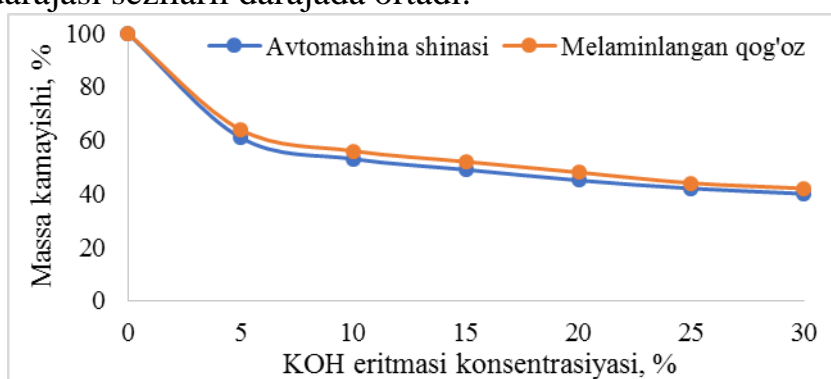


2)

5-rasm. Uglerodli materiallarning hosil bo'lish unumdorligini termik faollashtirish davomiyligiga (minut) ta'siri: 1) melaminlangan qog'oz chiqindisi ko'miri; 2) avtomashina shinasi chiqindisi ko'miri.

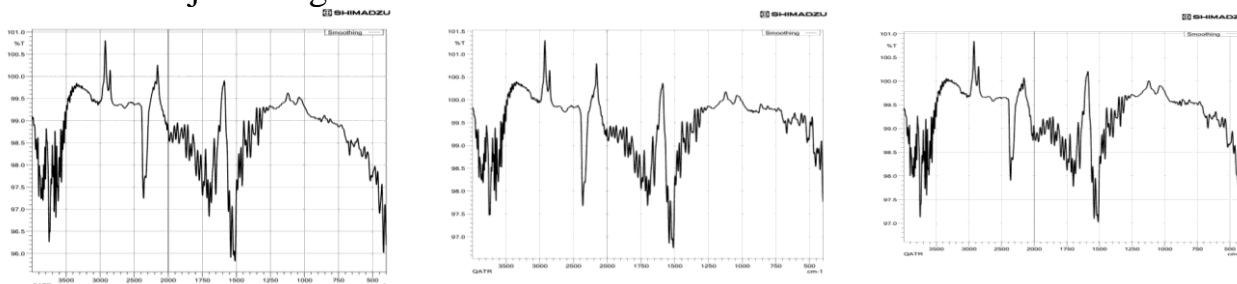
Termik faollashtirish jarayonida harorat va vaqtning o'zgarishi adsorbent hosil bo'lish unumdorligining asosiy omillaridan biridir. Melaminlangan qog'ozni 200-400°C harorat oralig'ida massa kamayishi 30-35 %, shina chiqindisi namunasida 28-30 % ni tashkil etdi. 400–600 °C oralig'ida namunalar tarkibidagi uchuvchi organik komponentlar chiqib ketishi natijasida hosil bo'lgan karbonizatlarning hosildorligi faollashtirish davomiyligi 1 soat vaqt davomida olib borilganda FK-M uchun 62 % ni, FK-A da esa 66 % ni, 2 soat davomiylik natijasida esa mos ravishda 60 va 64 % ni tashkil etdi. 700 °C dan yuqori haroratlarda esa uglerodning qisman gazlashuvi boshlanib, hosil bo'lish unumdorligi 62–66 % dan 54–59 % gacha kamayadi. Olingan natijalar asosida har ikki namuna uchun termik faollashtirish harorati 800°C da 60 minut davomida olib borish muqobil variant sifatida ko'rsatish mumkin.

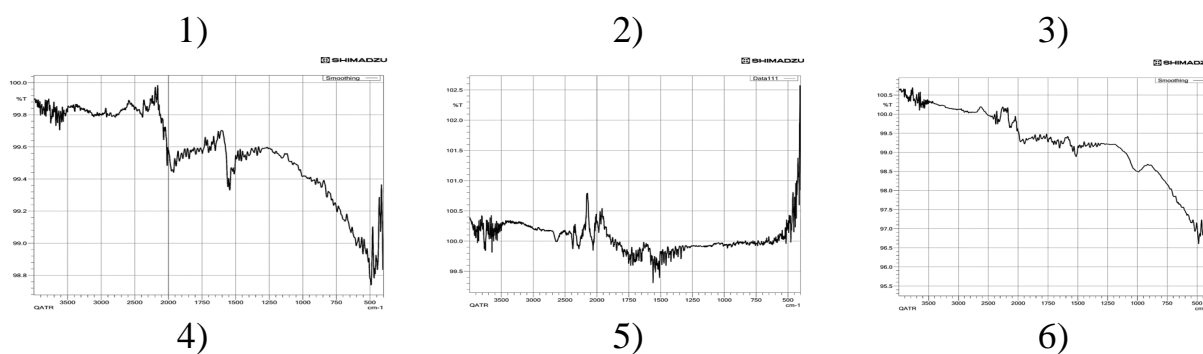
KOH bilan faollashtirilgan namunalar termik faollashtirilganlarga nisbatan yuqori mikrog'ovaklikka ega bo'ladi, biroq umumiy hosil bo'lish unumdorligi pastroq bo'ladi. Bu holat uglerod tuzilmasining reaktivligi, faollashtiruvchi reagent bilan o'zaro ta'sir mexanizmi va energiya sarfiga bog'liq. Kimyoviy faollashtiruvchi reagentlar xom ashyo tarkibidagi organik komponentlarning parchalanish yo'nalishini o'zgartirib, karbonizatsiya bosqichida barqaror g'ovakli strukturaning shakllanishiga yordam beradi. Natijada, hosil bo'lgan adsorbentlarning sirt faolligi va mikrog'ovaklik darajasi sezilarli darajada ortadi.



6-rasm. Uglerodli materiallarning hosil bo'lish unumdorligiga kaliy ishqori konsentratsiyasining bog'liqligi.

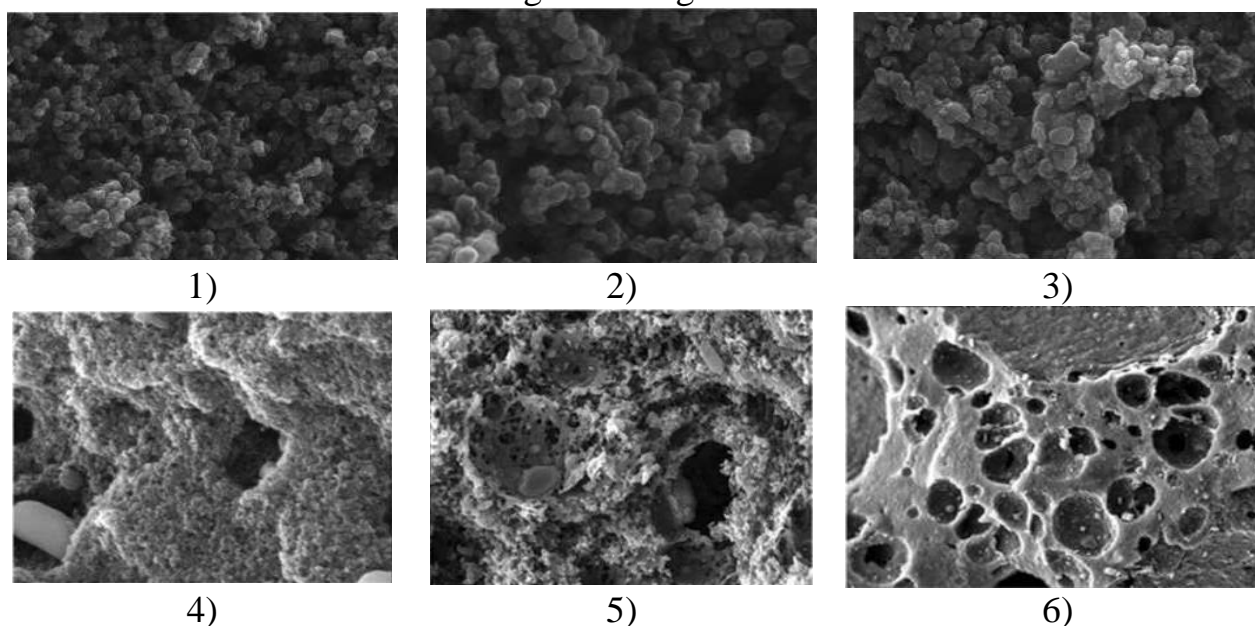
IQ-spektral tahlil olingan uglerodli materiallarning strukturaviy transformatsiyasini aniqlashda ham muhim ahamiyat kasb etadi. Turli xil xomashyolar tarkibida mavjud aromatik uglevodorodlar, azotli birikmalar, sulfid bog'lar va boshqa turdagi komponentlar termik va kimyoviy faollashtirish jarayonida sezilarli darajada o'zgaradi.





7-rasm. Ikkilamchi xomashyolar asosida olingan ko‘mir adsorbentlarning IQ-spektrlari: 1) FK-A:1; 2) FK-A:2; 3) FK-A:3; 4) FK-M:1; 5) FK-M:2; 6) FK-M:3.

Ikkilamchi xomashyolar asosida olingan ko‘mir adsorbentlarning 10, 20 va 30 % li KOH eritmaları bilan faollantirilgan namunalarning IQ-spektrlari ularning sirt kimyoviy tarkibidagi o‘zgarishlarni yaqqol namoyon etadi. 3500–3200 cm^{-1} atrofida keng yutilish chizig‘i –OH guruhlariga, ya‘ni fenol gidroksil guruhi, karboksil guruhdagi OH- va adsorbsiyalangan suv molekularining tebranishlariga mos keladi. 2920–2850 cm^{-1} diapazonidagi zaif intensivlikdagi cho‘qqilar C–H bog‘lari tebranishlarini bildiradi. 1700–1600 cm^{-1} oralig‘idagi yutilish chizig‘i karbonil (C=O) guruhlariga, xususan, keton, karboksil yoki lakton turlarining mavjudligini anglatadi. 1570–1450 cm^{-1} atrofida yutilishlar aromatik halqadagi C=C bog‘lariga, 1100–1000 cm^{-1} oralig‘idagi tebranishlar esa C–O–C va C–O kabi oddiy efir bog‘lari asosdagi funksional guruhlariga tegishli bo‘lib, ko‘mir sirtida kislorodli funksional markazlarning shakllanganini ko‘rsatadi.

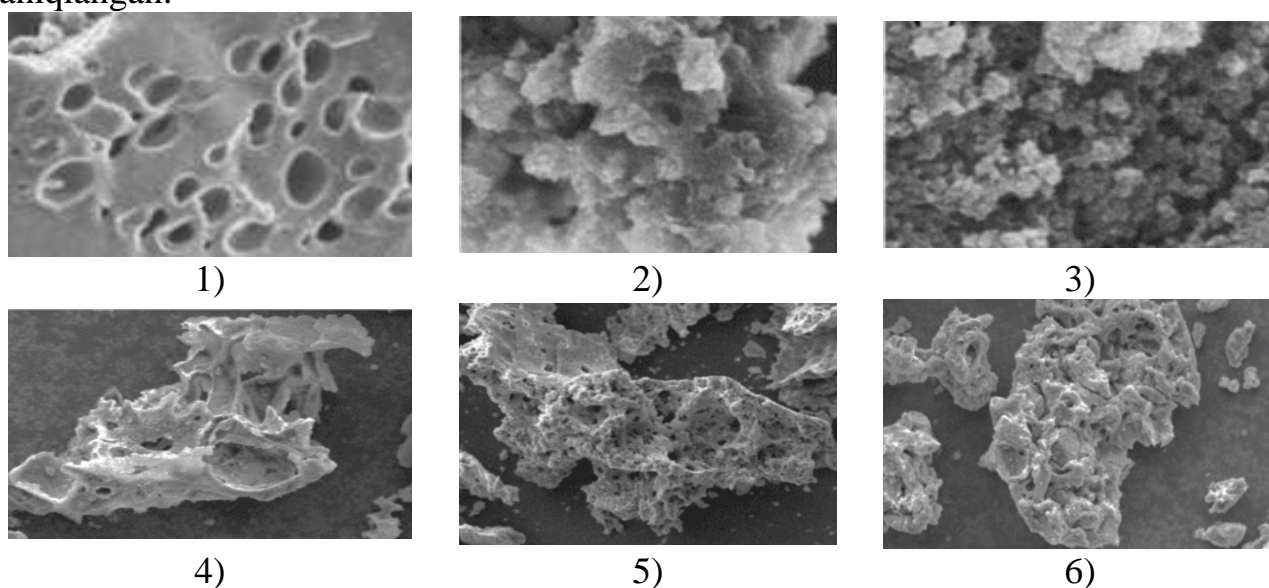


8-rasm. Shina qoldiqlari asosida termik va kimyoviy faollashtirib olingan ko‘mir adsorbentlarning mikrotasvirlari: 1) FK-A:400; 2) FK-A:600; 3) FK-A:800; 4) FK-A:1; 5) FK-A:2; 6) FK-A:3.

Keltirilgan SEM tasvirlari tahlili shuni ko‘rsatadiki, shina chiqindilari asosida olingan ko‘mirlarning sirt morfologiyasi termik va kimyoviy faollantirish darajasiga bevosita bog‘liq holda sezilarli o‘zgarishlarga uchraydi. Dastlabki past haroratlarda faollantirilgan namuna sirtida nisbatan tekis, zich joylashgan va cheklangan g‘ovaklikka ega struktura kuzatilib, bu bosqichda shina polimer matritsasining to‘liq

parchalanmaganligini ko'rsatadi. Harorat ortib 600–800 °C gacha yetkazilganda sirt strukturasi ancha murakkab morfologik o'zgarishlar ro'y berganligini ko'rish mumkin.

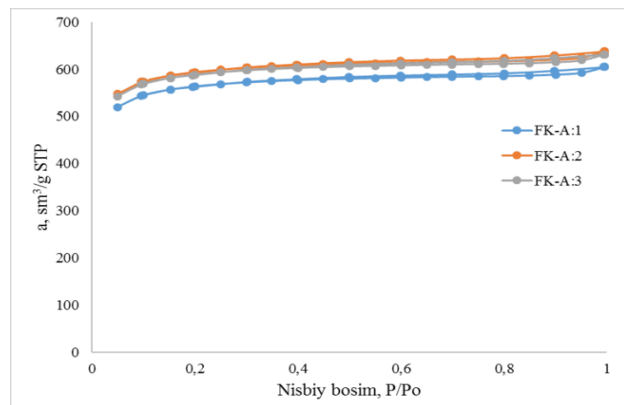
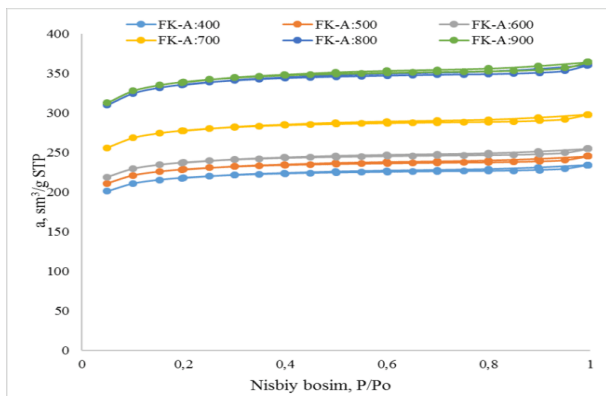
Kimyoviy faollantirish jarayonida KOH konsentrasiyasining ortishi (10 %, 20 %, 30 %) sirt tuzilishining yanada faol ochilishi va morfologik notekislikning kuchayishiga olib kelgan. Past konsentrasiyalarda asosan sirtning qisman faollashuvi, mavjud g'ovaklarning kengayishi kuzatilgan bo'lsa, yuqori konsentrasiyadagi KOH eritmasi bilan ishlov berilgan namunalarda sirtida uglerodli komponentlarning chuqur karbonizatsiyasi va gaz fazasidagi mahsulotlar chiqishi natijasida sirt bo'ylab yirik yoriqlar, kanallar va o'zaro bog'langan mikrog'ovak–mezog'ovak tizimlari asosida hosil bo'lgan mikrog'ovaklarning mezog'ovak tizimlariga birikishini, karbonatlashish mahsulotlarining ajralishi va sirtning yanada notekis ko'rinishga ega bo'lishi aniqlangan.



9-rasm. Melamin qog'oz qoldiqlari asosida termik va kimyoviy faollashtirib olingan ko'mir adsorbentlarning mikrotasvirlari: 1) FK-M:400; 2) FK-M:600; 3) FK-M:800; 4) FK-M:1; 5) FK-M:2; 6) FK-M:3.

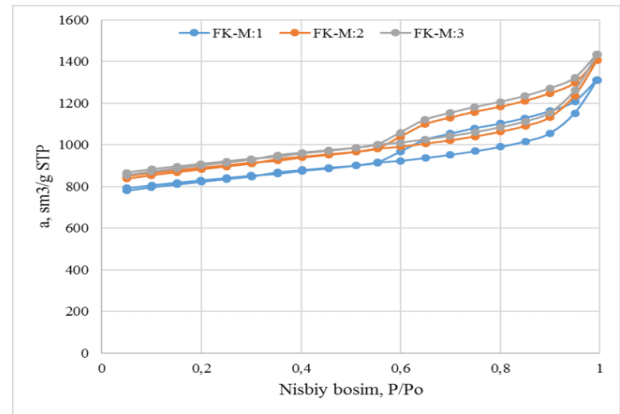
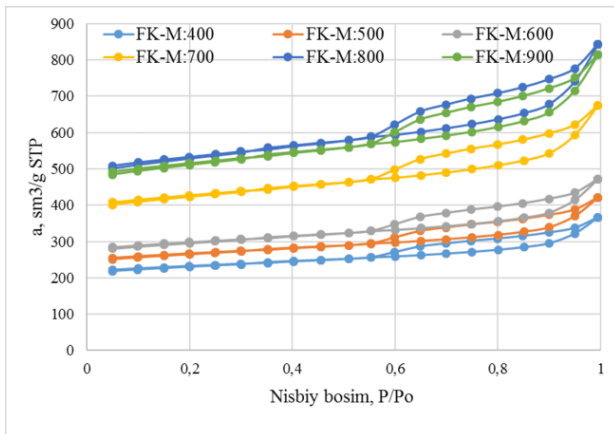
Dissertasiyaning “**Uglerodli materiallarning noorganik va organik birikmalarga nisbatan adsorbsion xususiyatlari**” deb nomlangan 4-bobida namunalarning azot, benzol bo'yicha adsorbsiyalanishi va sanoat oqova suvlari tarkibidagi organik-ifloslantiruvchi moddalarni uglerodli adsorbentlar yordamida samarali adsorbsiyalash natijalarini taqdim etilgan.

Termik faollashtirish usuli bilan olingan shina xomashyosi asosidagi uglerodli materiallarning 77 K da azot adsorbsiya–desorbsiya izotermalari IUPAC tasnifiga muvofiq asosan kombinatsiyalangan tipga – mikro va mezog'ovaklik yani I va IV tip izotermalarga mos keldi. Faollashtirish harorati 400°C dan 900°C gacha ortishi natijasida olingan namunalarda izotermalarida past nisbiy bosimlarda ($P/P_0 < 0.1-0.2$) adsorbsiyalangan azot miqdorining ko'p qismini yutilishi mikrog'ovaklarga yutilganligidan, bundan esa g'ovaklar miqdorini asosiy qismini mikrog'ovaklar tashkil etishini anglatadi.



Termik faollantirib olingan namunalarning Kimyoviy faollantirib olingan namunalarning
10-rasm. Shina xomashyosi asosida olingan namunalarning azot adsorbsiya-desorbsiya izotermalari.

Kimyoviy faollashtirilgan avtomashina shinasi xomashyosi asosidagi ko‘mir namunalarning azot adsorbsiya-desorbsiya izotermalari IUPAC tasnifiga ko‘ra asosan I tupdagi izotermalar xarakterini ko‘rsatdi, lekin KOH konsentratsiyasining oshishi bilan izotermalarda past nisbiy bosimlarda boshlang‘ich yutilish miqdori ortishi hamda umumiy yutilgan absorbtiv hajmi ortishi kuzatildi. Bu hodisa KOH faollantirish jarayonida birlamchi va ikkilamchi kimyoviy reaksiyalari natijasida turli gazlarni ajralib chiqishi, uglerod strukturasi yangidan shakllanishi va kaliy metalini qavatlar orasiga inetrkalitsiyalanishi natijasida yangi mikrog‘ovaklarning paydo bo‘lishi bilan izohlanadi.



Termik faollantirib olingan namunalarning Kimyoviy faollantirib olingan namunalarning
11-rasm. Melaminlangan qog‘oz xomashyosi asosida olingan namunalarning azot adsorbsiya-desorbsiya izotermalari.

Barcha namunalarning adsorbsiya-desorbsiya izotermalari IV tipga xos ekanligini (uglerodli materiallarni mikro-va mezog‘ovaklik strukturaga ega ekanligini va kapillyar kondensatsiya bilan bog‘liq gisterzis halqasini hosil qilganini) ko‘rsatadi.

Kimyoviy faollashtirilgan melaminlangan qog‘oz chiqindisi asosidagi ko‘mir adsorbentlarning azot adsorbsiya-desorbsiya izotermalari IUPAC tasnifiga ko‘ra asosan IV turdagi izotermalar xususiyatlarini namoyon etadi. Past nisbiy bosimlarda ($P/P_0 < 0,1$) izotermalarning keskin o‘shishi mikrog‘ovaklarning rivojlanganligini bildirsa, yuqori bosim sohasida yutilishning davom etishi va namunalarning uchun gisterzis halqasining paydo bo‘lishi mezog‘ovaklar mavjudligidan dalolat beradi.

KOH konsentratsiyasi ortishi (10→30 %) bilan izotermalardagi boshlang'ich yutilish miqdori va umumiy adsorbsion hajm sezilarli oshib bordi, bu jarayon KOH ning ko'mir strukturasiidagi organik komponentlarga chuqur ta'siri - interkalatsiya, karbonat anhidrid gazi hosil bo'lishi va termik parchalanish natijasida yuzaning kengayishi, shuningdek, g'ovaklik strukturasiining qayta tashkil topishi bilan bog'liqdir.

4-jadval.

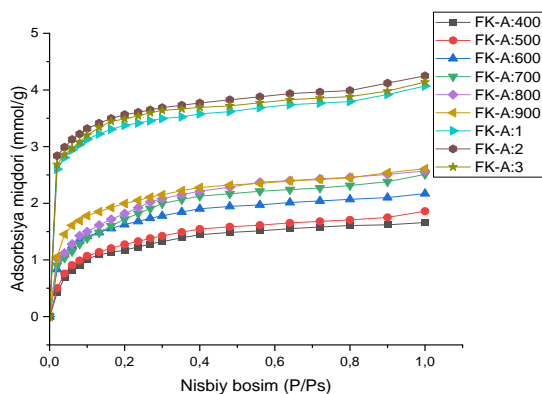
Termik va kimyoviy faollantirilgan namunalariining tekstur xususiyatlari

Namunalar	S^I , m ² /g	t -Plot*, m ² /g	V_a , sm ³ /g	V_b , sm ³ /g	R , Å	D , Å	D^* , Å
FK-A:400	224,893	83,881	0,275	0,076	24,793	14,301	3,712
FK-A:500	235,902	87,987	0,288	0,079	24,528	14,291	3,677
FK-A:600	244,896	91,342	0,299	0,082	23,376	14,248	3,626
FK-A:700	286,493	106,857	0,350	0,096	22,548	14,074	3,512
FK-A:800	346,529	129,249	0,423	0,116	21,724	13,815	3,428
FK-A:900	350,090	130,577	0,427	0,117	21,718	13,807	3,426
FK-A:1	581,630	216,928	0,711	0,195	19,364	13,117	3,218
FK-A:2	613,173	228,692	0,749	0,206	18,064	13,044	3,164
FK-A:3	607,461	226,562	0,742	0,204	180,68	13,047	3,165
FK-M:400	218,610	69,869	0,294	0,239	47,471	14,363	4,214
FK-M:500	250,886	80,349	0,338	0,275	46,627	14,109	4,148
FK-M:600	280,664	89,886	0,378	0,307	45,841	13,827	4,062
FK-M:700	401,931	128,723	0,541	0,440	44,652	13,128	3,874
FK-M:800	501,771	160,698	0,676	0,549	43,958	12,247	3,762
FK-M:900	484,944	155,301	0,653	0,530	43,971	12,254	3,768
FK-M:1	780,845	250,074	1,052	0,855	42,146	12,146	3,705
FK-M:2	838,101	268,411	1,129	0,917	41,971	12,108	3,687
FK-M:3	854,545	273,668	1,151	0,935	41,942	12,091	3,682

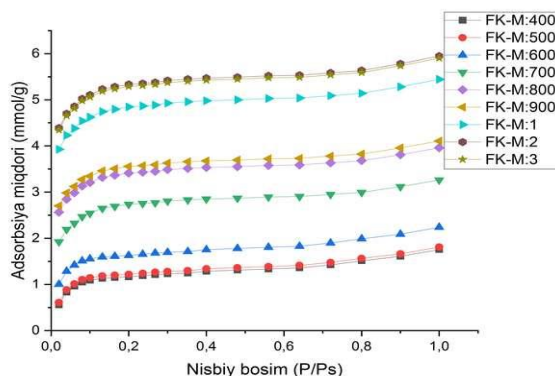
Termik va KOH bilan faollashtirilgan FK-A namunalariining sorbsion-struktur ko'rsatkichlari ularning faollantirish sharoitlariga sezilarli darajada bog'liqligini ko'rsatadi. Termik faollantirish (FK-A:400–900) jarayonida harorat ortishi bilan BET yuzasi (S^I) 224,9 m²/g dan 350,1 m²/g gacha ortishi aniqlangan, bu esa uglerod strukturasi ichida mikrog'ovallar miqdorining shakllanishi va ularning kengayishi bilan izohlanadi. KOH bilan kimyoviy faollashtirish esa sezilarli darajada yuqori sorbsion ko'rsatkichlarni ta'minlagan: 10, 20 va 30 % li KOH konsentratsiyalarida (FK-A:1–3) BET yuzasi 581,6–613,2 m²/g oralig'ida bo'lib, umumiy yutilgan hajm 0,711–0,749 sm³/g gacha oshgan.

Melamin qog'oz chiqindisidan olingan FK-M namunalariida termik va kimyoviy (KOH) faollashtirish natijalari yanada aniqroq g'ovaklik dinamikasini ko'rsatadi. Termik faollantirishda (FK-M:400–900) BET yuzasi 218,6 m²/g dan 501,8 m²/g gacha, umumiy hajm esa 0,294 sm³/g dan 0,676 sm³/g gacha oshgan, bu esa 400–800 °C oralig'ida mikrog'ovaklarning shakllanishi va keyinchalik mezog'ovaklarga aylanishi ko'rsatadi. 900 °C da esa g'ovak devorlarining qisman birlashishi sababli yuzada adsorbsion maydonni pasayishi kuzatilgan. KOH bilan

faollashtirilgan namunalar (FK-M:1–3) esa eng yuqori sorbsion parametrlarni namoyon etib, yuzasi 780,8–854,5 m²/g gacha, umumiy yutilgan hajmi esa 1,052–1,151 sm³/g gacha yetgan. Bu jarayon KOH ta'sirida melamin strukturasiidagi azotli komponentlarning parchalanishi va uglerodli strukturaning qayta tuzilishi bilan bog'liq bo'lib, nafaqat mikrog'ovaklar, balki kengaygan mezog'ovaklar tizimining shakllanishiga ham olib kelgan.



Shina chiqindilari asosida olingan namunalar



Melamin qog'oz chiqindilari asosida olingan namunalar

12-rasm. Olingan uglerodli materiallarning benzol bug'larini adsorbsiya izotermalari.

Termik faollashtirish haroratining oshishi bilan (400–900 °C) maksimal adsorbsion sig'im asta-sekin ortib borishini ko'rish mumkin, bu esa yuqori haroratlarda ko'mir strukturasiining karbonizatsiyasi chuqurlashib, g'ovaklar hajmi va o'rtacha sirt maydoni kengayganini ko'rsatadi. Faollantirish harorati 400°C dan 900 °C ga oshirilishi mos ravishda 1,66 mmol/g dan 2,61 mmol/g gacha benzolning adsorbsiyalash miqdori oshgani kuzatildi.

Kimyoviy faollashtirilgan namunalar (FK-A:1, FK-A:2, FK-A:3) termik faollashtirilgan namunalar bilan solishtirganda yuqori adsorbsion samaradorlikka ega bo'lib, bu esa KOH bilan faollashtirilishi natijasida uglerod skeletida mikrog'ovak va mezog'ovaklar tizimini hosil qilganini hamda benzol molekulariga nisbatan sirt energiyasini oshirganini bildiradi.

Melaminlangan qog'oz chiqindilari asosida olingan uglerodli materiallarning benzol bug'larini adsorbsiya izotermalaridan ko'rinib turibdiki, termik faollantirish haroratining oshishi (400–900 °C) va kimyoviy faollantiruvchi reagent konsentratsiyasining ortishi natijasida adsorbsiya miqdori sezilarli darajada oshgan.

Benzol bug'larining adsorbsiyasi asosan ko'mir sirtidagi mikrog'ovak va mezog'ovak strukturalarida Van-der-Vaals kuchlari hamda $\pi-\pi$ o'zaro ta'sirlari orqali amalga oshadi. Melamin komponentining parchalanishi natijasida sirtga kiritilgan azotli funksional guruhlar ($-\text{NH}_2$, $-\text{CN}$, $-\text{C}-\text{N}-$) adsorbat molekulari bilan qo'shimcha donor-akseptor bog'lanishlar hosil qilishi mumkin, bu esa adsorbsion energiyani oshiradi. Shu bilan birga, termik faollantirish jarayonida funksional guruhlarining bir qismi parchalanib ketadi, biroq kimyoviy faollantirish bu yo'qotishni qisman kompensatsiya qilinib, sirtni qayta faollashtiradi.

Adsorbentlarning benzol bo'yicha adsorbsiya izotermalari va BET tenlamalari asosida ularning struktur-sorbsion xususiyatlari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Ko‘mir adsorbentlarining benzol bug‘lari adsorbsiyasi bo‘yicha
struktur - sorbsion ko‘rsatkichlari

№	Namunalar	Monoqavat sig‘imi, a_m , mmol/g	Nisbiy naydoni, S , m ² /g	Mikrog‘ovaklar hajmi, V_a , sm ³ /g	Mezog‘ovaklar hajmi, V_b , sm ³ /g	G‘ovaklar o‘rtacha radiusi $r_{o'r}$, Å
1	FK-M:400	0,841	202,40	0,128	0,058	15,4
2	FK-M:500	0,877	211,14	0,132	0,029	15,2
3	FK-M:600	1,158	278,96	0,166	0,030	14,2
4	FK-M:700	1,909	459,72	0,261	0,031	12,6
5	FK-M:800	2,373	571,36	0,321	0,031	12,3
6	FK-M:900	2,471	594,94	0,333	0,031	12,2
7	FK-M:1	3,354	807,65	0,449	0,033	11,9
8	FK-M:2	3,686	887,58	0,492	0,035	11,9
9	FK-M:3	3,658	880,92	0,488	0,035	11,9
10	FK-A:400	0,751	180,75	0,118	0,025	15,9
11	FK-A:500	0,974	234,49	0,138	0,027	14,1
12	FK-A:600	1,217	293,00	0,164	0,028	13,1
13	FK-A:700	1,337	322,01	0,163	0,059	13,8
14	FK-A:800	1,404	338,04	0,173	0,051	13,5
15	FK-A:900	1,473	354,59	0,203	0,028	13,0
16	FK-A:1	2,378	572,65	0,311	0,027	11,8
17	FK-A:2	2,511	604,72	0,325	0,027	11,8
18	FK-A:3	2,465	593,47	0,320	0,026	11,6

Har ikki materialda g‘ovaklarning o‘rtacha radiusi $r_{o'r}$ 16 Å dan 12 Å gacha kamaygani mikrog‘ovaklarning ustunlik qilayotganini, ya’ni adsorbsiyaning asosan mikrog‘ovak strukturalarda kechishini bildiradi. Demak, kimyoviy faollantirishning ta’siri termik faollantirishga nisbatan ancha chuqurroq bo‘lib, bu jarayon natijasida hosil bo‘lgan yuqori sirt maydoniga ega, mikrog‘ovak tuzilmalari

XULOSA.

1. Ikkilamchi organik xomashyolar asosida tayyorlangan uglerodli materiallarning fizik va kimyoviy faollashtirish jarayonlarining optimal sharoitlari aniqlanib, faollashtirish harorati sifatida 800 °C va xomashyo:faollantiruvchi reagent (1: 20 %) eng maqbul sharoit ekanligi aniqlandi.

2. Uglerodli sorbentlarning teksturaviy va funksional xususiyatlari IQ-spektroskopiya, TG–DTA, XRD va SEM tahlil usullari yordamida o‘rganildi. Termik faollantirish jarayonida melamin qog‘oz chiqindisi asosida olingan namunalarda amin, fenol hamda karboksil guruhlarning qisman saqlanib qolishi aniqlangan bo‘lsa, kimyoviy faollashtirish bosqichidan so‘ng har ikki xomashyo asosida olingan namunalarda –OH, –C=O va –COOH tipidagi funksional guruhlarning faol sirt markazlarini shakllantirgani kuzatildi.

3. Faollantirish haroratining oshirilishi bilan azot adsorbsiya–desorbsiya tahlili asosida solishtirma sirt maydoni (S^1) FK-M uchun 218,61 dan 501,77 m²/g gacha, FK-A uchun esa 224,89 dan 350,09 m²/g gacha oshgani kuzatildi. Shuningdek, mikrogʻovaklar yuzasi (FK-M uchun 69,87→160,70 va FK-A uchun 83,88→130,58) va mikro–mezogʻovaklar hajmlari ham deyarli bir yarim baravar ortishi aniqlandi.

4. Kimyoviy faollantirilgan sorbentlarning teksturaviy koʻrsatkichlari termik faollantirilgan namunalarga nisbatan keskin oshgani aniqlandi. Masalan, FK-A:800 namunasi uchun sirt maydoni 346,53 m²/g boʻlsa, FK-A:3 uchun bu koʻrsatkich 607,46 m²/g gacha, FK-M:800 uchun esa 501,77 m²/g dan FK-M:3 854,545 m²/g gacha ortdi. Shu bilan birga faollantiruvchi reagent konsentrasiyasi 20 % dan 30 % ortganda sorbsion struktur xususiyatlarga katta taʼsir koʻrsatmaganligi (FK-A namunasi uchun 613,17→607,46 m²/g va FK-M namunasi uchun 838,10→854,54 m²/g) aniqlandi.

5. Termik ishlov berish haroratining oshishi va faollantiruvchi reagent konsentrasiya ortishi bilan namunalarda benzol bugʻlari boʻyicha adsorbsion samaradorligi organligi kuzatildi. Bu uchuvchi komponentlarning yonishi va mikrogʻovaklarning shakllanishi tufayli haroratning oshishi bilan gʻovakli strukturaning yanada samarali rivojlanishini aks ettiradi.

6. Ikkilamchi organik xomashyolar asosida termik faollashtirilgan koʻmir adsorbentlari oqova suv tarkibidagi moy va neft mahsulotlarini 55–62 %, fenollarni 59–68 %, ogʻir metall ionlarini 74–83 %, sulfidli birikmalarni 81–87 %, ammiak va ammoniyni esa 75–81 % gacha tozalash imkonini bergan. Termik faollantirilgan namunalarga nisbatan KOH bilan faollashtirilgan koʻmir adsorbentlar oqova suvlar tarkibidagi organik va mineral birikmalarning tozalash samaradorligi 1,2- 1,5 marta, nazorat koʻmir adsorbentga nisbatan esa 2 marta ortgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/08.05.2025.К/Т.130.04
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ
КОКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

КОКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХАМЗАХУЖАЕВ АСРОРХУЖА АХРОРХУЖА УГЛИ

**ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОСОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ВТОРИЧНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ
АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ**

02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия

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

Коканд-2025

The subject The subject of the PhD thesis has been registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2024.4.PhD/K902.

Dissertation work completed at the Institute of Kokand state university.

Abstract of the thesis in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) posted on the web site of «ZiyoNet» to the address www.ziyo.net.uz.

Academic Supervisor: **Paygamov Rakhimjon Abdukayumovich**
doctor of philosophy (PhD) of chemistry, associate professor

Official opponents: **Mamataliev Nozim Nimadjanovich**
Doctor of Chemical Sciences

Abdulkhayev Tolibjon Dolimjonovich
Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor

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

The defense will take place «27» december 2025 at 10⁰⁰ o'clock at the meeting of on-time scientific Council No PhD.03/08.05.2025.K/T.130.04. at Kokand state university (Address: 150700, Kokand city, Turon street, 23. (+99873) 542-38-38, (+99873) 542-02-57; faks: (+99873) 542-38-38, e-mail: kokandsu@exat.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Kokand state university, (is registered under № 29). Address: 150700, Kokand city, Turon street, 23. (+99873) 542-38-38, (+99873) 542-02-57; faks: (+99873) 542-38-38, e-mail: kokandsu@exat.uz

Abstract of dissertation sent out on «16» december 2025 y.
(mailing report № 4 from «16» december 2025 y.)

**V.U Khujayev**
Chairman of the scientific Council awarding scientific degrees,
doctor of chemical sciences, professor

N.V. Valiyev
Scientific secretary of the scientific Council awarding scientific degrees,
PhD, docent

G.M. Ochilov
Chairman of the scientific seminar at the Scientific Council
for the award of an academic degree,
Doctor of chemical Sciences, professor

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в последние годы широко изучаются сорбенты, получаемые из вторичного органического сырья, как одно из актуальных направлений в области охраны окружающей среды и восстановления ресурсов. Такие сорбенты получают из возобновляемых источников, таких как биомасса, продукты питания, бумага, древесина, полимеры и бытовые отходы, а содержащиеся в них углеродные соединения с помощью термических, химических или комбинированных методов активации превращают в адсорбенты с высокой пористостью. Сорбенты на основе вторичного органического сырья, благодаря высокой площади поверхности, наличию различных функциональных групп и наличию иерархических пористых структур на микро-мезо-макроуровне, обладают свойством эффективно адсорбировать ионы тяжелых металлов, органические загрязнители, нефтепродукты и газовые смеси. В то же время, поскольку их производство дешево, экологически чисто и обеспечивает вторичную переработку отходов, большое значение имеет их использование в промышленных масштабах в системах очистки воды и воздуха, в качестве каталитической основы и при получении материалов для хранения энергии.

Во всем мире ведутся масштабные научные исследования по получению углеродных адсорбентов из возобновляемых источников с учетом экологических и экономических требований. В частности, получение дешевых, экологически чистых и высокоэффективных адсорбентов за счет использования вторичного органического сырья не только не наносит вреда окружающей среде, но и позволяет использовать отходы в качестве вторичного сырья. Это позволяет внедрять инновационные подходы, снижающие ресурсоемкость, совершенствующие технологии очистки и обеспечивающие их долгосрочную эффективность. Особое внимание уделяется научным и практическим аспектам разработки технологии получения углеродных адсорбентов на основе вторичного органического сырья для очистки природных и промышленных сточных вод от различных загрязняющих веществ и отделения продуктов производства от примесей.

В республике проводятся масштабные научные исследования по получению эффективных адсорбирующих материалов на основе местного сырья и отходов и их применению в процессе очистки сточных вод от органических загрязнителей, в том числе нефтепродуктов и их производных, а также других стойких органических соединений. В третьем направлении Стратегии развития нового Узбекистана поставлены задачи ¹«Продолжение промышленной политики, направленной на обеспечение устойчивости национальной экономики и увеличение доли промышленности в валовом внутреннем продукте, увеличение объема промышленной продукции в 1,4 раза». В этой связи важное значение имеют научные исследования, направленные на получение углеродных адсорбентов на основе вторичного органического сырья, глубокое изучение их физико-химических и структурных свойств, а также определение взаимосвязи

¹Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

между условиями активации, составом сырья и эффективностью адсорбции получаемых продуктов.

Указы Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана в 2022-2026 годах», Указы Президента Республики Узбекистан от 30 января 2025 года № ПФ-16 «О Государственной программе по реализации Стратегии «Узбекистан - 2030» в «Год охраны окружающей среды и «зеленой экономики», Указы Президента Республики Узбекистан от 26 сентября 2024 года № ПФ-149 «О мерах по обеспечению и дальнейшему повышению прозрачности системы управления в сферах экологии и охраны окружающей среды», Указы Президента Республики Узбекистан от 24 октября 2023 года № ПП-343 «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы питьевого водоснабжения и канализации» и от 24 октября 2018 года № ПФ-343 «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы питьевого водоснабжения и канализации». Данное диссертационное исследование будет в определенной мере способствовать реализации задач, обозначенных в Постановлении №ПП-3983 от 25 октября «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности в Республике Узбекистан» и нормативно-правовых актах, касающихся этой деятельности.

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

Уровень изученности проблемы. В мире научные исследования, направленные на получение, модификацию и изучение углеродных адсорбентов и их пористой структуры, ведутся рядом авторитетных научных школ. В частности, научные школы таких учёных, как Марш Д., Родригес Рейносо Ф., Луа А.С., Ахмадпур А., Морено Кастилья К., Бандос Т.Дж., Канеко К., Луа Дж., Новакова И., Зиолек М., внесли значительный вклад в углубленное изучение текстурных и функциональных свойств углеродных сорбентов на основе биомассы, а также их адсорбционной активности по отношению к различным загрязняющим веществам.

В Узбекистане под руководством К.С. Ахмедова создана научная школа, ориентированная на изучение поровой структуры и адсорбционных свойств адсорбционных материалов, представители которой Е.А. Арипов, Ф.Л. Глекель, С.С. Хамраев, С.Н. Аминов, А.А. Агзамходжаев, Ю.К. Ахмедов, Г.У. Рахматкариев, С.З. Муминов, Б.Н. Хамидов, В.П. Гуро, Г.Р. Нарметова, С.А. Абдурахимов, О.К. Эргашев, И.Д. Эшметов, Ш.А. Кулдашева, Д.С. Салиханова, А.Б. Абдикамалова, Д.Д. Джумаева, Д.А. Хандамов, Ю.Я. Якубов, Г.М. Очилов, Р.А. Пайгамов и другие ученые своими научными исследованиями внесли значительный вклад в развитие этого направления.

Следует отметить, что до настоящего времени систематическое изучение взаимосвязи между условиями первичного обугливания и последующей термохимической активации углеродсодержащих адсорбентов, полученных из различных источников, в том числе из макулатуры с меламинавым покрытием, их текстурно-химической структурой и селективной адсорбционной активностью по отношению к органическим загрязнителям не проводилось. Поэтому изучение

данной темы является научно и практически актуальным и открывает новые направления для развития отечественной науки.

Соответствие темы диссертации планам научных исследований научно-исследовательского учреждения, в котором выполнена диссертация. В соответствии с планами научных исследований Института общей и неорганической химии работа выполнялась в рамках государственной программы по теме «Разработка технологии получения адсорбентов и реагентов для очистки сточных вод нефтегазодобывающей промышленности и создание композиции реагентов, образующих устойчивую структуру в подвижных почвенно-песчаных дисперсиях».

Исследование цель Заключается в проведении термической и химической активации на основе вторичного органического сырья, определении его структуры и адсорбционных свойств.

Цели исследования:

определить оптимальные условия (температура, время, количество активирующего реагента) их первичной подготовки, карбонизации и химической активации для получения углеродных адсорбентов на основе различного вторичного сырья (меламиновой бумаги и автомобильных покрышек);

проведение физико-химических анализов синтезированных углеродных адсорбентов (методы ИК-спектроскопии, рентгеновской дифракции, TG/DТА, BET и SEM);

определение площади поверхности, размера и распределения пор полученных адсорбентов, наличия функциональных групп, а также оценка их структурно-текстурных параметров;

определение способности адсорбентов сорбировать органические соединения (фенолы, нефтепродукты, красители и др.) в водных растворах, включая максимальную емкость, эффективность и селективность адсорбции;

отбор высокоэффективных образцов и оптимизация технологических процессов путем сравнения адсорбентов, полученных из различных видов вторичного сырья;

оценка возможностей практического применения разработанных углеродных адсорбентов для эффективной очистки сточных вод от органических соединений.

Объектами исследования были выбраны образцы термически и химически активированных углеродных адсорбентов на основе меламиновой бумаги и отработанных автомобильных покрышек (FK-M, FK-A).

Предметом исследования является изучение условий физико-химической активации вторичного органического сырья, адсорбционных свойств углеродных адсорбентов и свойств очистки органических загрязнителей, содержащихся в промышленных сточных водах.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использованы современные и традиционные физико-химические (рентгенофазовый, рентгенофлуоресцентный, термический и электронно-микроскопический анализы) и коллоидно-химические (адсорбция, кондуктометрия) методы определения свойств.

Научная новизна исследования состоит из:

проведено систематическое исследование влияния температуры карбонизации и количества химического активатора (KOH) на пористую структуру в процессе получения углеродных адсорбентов на основе вторичного органического сырья, доказано, что наибольшей площадью поверхности (600-880 м²/г) и развитием микропор характеризуются образцы, полученные при соотношении концентраций 1:20% ;

термическая стабильность углеродных адсорбентов, полученных из отходов автомобильных покрышек и меламиновой бумаги, и физико-химические изменения после процесса активации ИК-спектроскопия, XRD, TG/DTA и использовались методы анализа SEM;

впервые определены площадь поверхности, размер и распределение пор, наличие функциональных групп, а также их структура и текстурные параметры углеродных адсорбентов, полученных из меламинового бумажного сырья ;

научно обоснованы способность полученных углеродных адсорбентов адсорбировать неорганические и органические соединения, максимальная адсорбционная емкость, площадь поверхности, размеры и распределение пор, механизмы адсорбции ;

испытания углеродных адсорбентов на сточных водах нефтяной промышленности при комнатной температуре обеспечили очистку нефти и нефтепродуктов на 87-88%, фенольных соединений на 85-86%, минеральных примесей и водорастворимых жиров на 90-97%. При этом научно обосновано поглощение частиц органических загрязнителей за счет быстрой диффузии и адсорбции молекул на границе раздела фаз вода-органика .

Практические результаты исследования следующие:

Разработаны методические основы проведения процессов термической и химической активации на основе вторичного органического сырья;

Разработаны оптимальные условия адсорбционной очистки водных растворов от органических загрязняющих соединений с использованием сорбентов на основе вторичного органического сырья.

Достоверность результатов исследований. Научные выводы, основанные на результатах исследований, подтверждаются научными данными, полученными с использованием современных и традиционных физико-химических и аналитических методов, а практические результаты научных инноваций подтверждаются протоколами испытаний, проведенных в лабораторных и производственных условиях ООО «Ферганский НПЗ».

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что они позволят разработать методику проведения процессов термической и химической активации вторичного органического сырья, определить оптимальные условия химической активации угольных образцов с использованием гидроксида калия, а также создать основу для создания углеродных материалов с заданными свойствами .

Практическая значимость результатов исследований будет заключаться в разработке технологий термической и химической активации растительных углей для очистки различных сред, получении адсорбентов для нейтрализации сточных и природных вод от органических загрязнителей, а также в процессе подготовки

бакалавров и магистров в высших учебных заведениях по направлениям химия, химическая технология и экология.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов по производству термо- и химически активированных углеродных адсорбентов:

Разработан способ получения термоактивированных углеродных адсорбентов на основе вторичного органического сырья и способы их применения включены в перечень перспективных разработок для внедрения в практику ООО «Ферганский НПЗ» в 2026–2030 годах. (На основании справки ООО «Ферганский НПЗ» от 10 сентября 2025 года № 15/116). На основании полученных результатов удалось обеспечить очистку водосодержащих нефти и нефтепродуктов на 55–62%, фенолов на 59–68%, ионов тяжелых металлов на 74–83%, сульфидных соединений на 81–87%, аммиака и аммония на 75–81%;

разработан и внедрен в практику способ адсорбционной очистки термически и химически активированных углеродных материалов, который был реализован на ООО «Ферганский НПЗ» (на основании отзыва ООО «Ферганский НПЗ» №15/116 от 10.09.2025 г.). В результате эффективность очистки органических и минеральных соединений сточных вод углеродными адсорбентами на основе КОН увеличилась в 1,2-1,5 раза по сравнению с термически активированными образцами и в 2 раза по сравнению с контрольным углеродным адсорбентом.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 5 международных и 1 республиканской научно-практической конференции.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ. В том числе по основным научным результатам диссертации опубликовано 7 научных статей, из них 5 в журналах, рекомендованных к публикации ВАК Республики Узбекистан, и 2 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 96 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введении обосновываются актуальность и важность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, описываются объекты и предмет исследования, подчеркивается соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и техники в Республике Узбекистан, указывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приводятся сведения о внедрении полученных результатов, опубликованных работах, структура диссертации.

Диссертации под названием **«Современные исследования в области получения сорбентов из вторичного органического сырья»** представлены сведения о мировых тенденциях развития и экологических аспектах использования сорбентов, классификации сорбентов и роли углеродных материалов, полученных из отходов, классификации углеродных материалов и их использовании в сорбционных технологиях, преимуществах и перспективах получения углеродных адсорбентов на основе вторичного органического сырья.

Раскрыты научные и практические основы строения, состава и свойств углеродных сорбентов.

Диссертации под названием «Материалы и методы исследования» представлены виды сырья, способы их получения, условия синтеза углеродных сорбентов, а также результаты изучения их поверхностной структуры и химического состава методами СЭМ, ИК-спектроскопии, ТГ/ДТА и БЭТ.

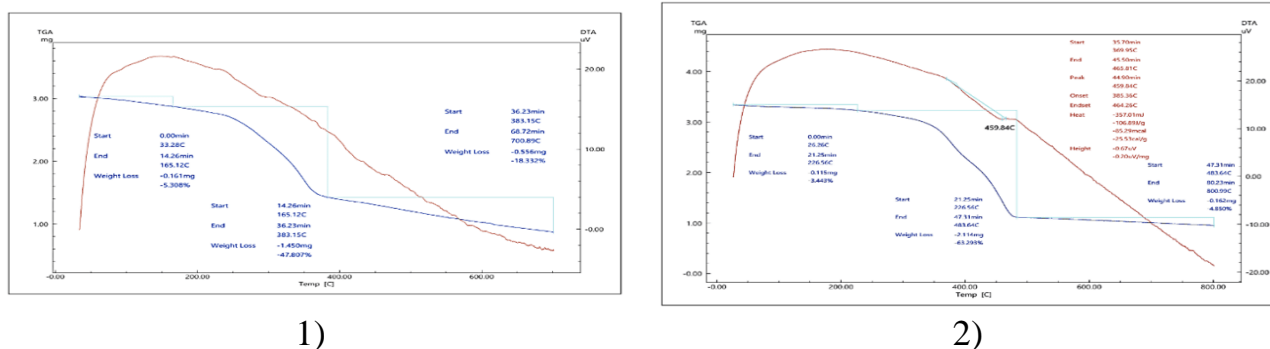


Рисунок 1. Термический синтез вторичного сырья: 1) Бумага с меламинаминовым покрытием; 2) Отходы шин.

Высокая сорбционная способность углерода отражает энергетические процессы стабилизации, происходящие при формировании пористой структуры. Эти характеристики определяют адсорбционные свойства конечного продукта, такие как активность поверхностных функциональных групп, количество кислотно-основных центров и способность к комплексообразованию с ионами металлов.

Текстурные свойства исходных углеродных материалов определялись методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота. Измерения проводились при температуре 77 К с использованием автоматического анализатора сорбционных свойств.

Как видно из изотерм адсорбции-десорбции (рис. 2), сорбционная емкость по азоту в некарбонизированных исходных образцах относительно низкая, что объясняется ограниченным развитием поверхности на этой стадии. Для некарбонизированной меламиновой бумаги наблюдалась более выраженная микропористая структура, тогда как для резиновой крошки отмечено преобладание мезопористых структур.

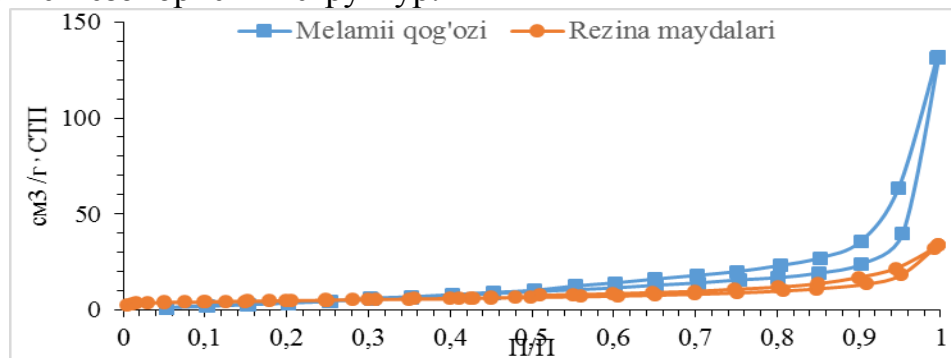


Рисунок 2. Изотермы адсорбции-десорбции азота в образцах.

Таблица 3

Текстурные свойства первичных некарбонизированных материалов

Образец	S _{ВЕТ}	V _σ , см	Средний	Диапазон пор,
---------	------------------	---------------------	---------	---------------

	m^2/Γ	$^3/\Gamma$	радиус пор, Å	составляющих колонку, нм
Меламиновая бумага	17.03	0,054	22.7	14-22
Резиновая крошка	9.83	0,026	30,5	18-21,5

Структурные свойства исходных материалов определялись с помощью рентгеновской дифракции (РФА) и инфракрасной Фурье-спектроскопии (ИКФС). Рентгеновская дифракция проводилась на порошковом дифрактометре с использованием монохроматизированного $CuK\alpha$ -излучения ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Измерения проводились в диапазоне углов 2θ от 5° до 80° с шагом $0,02^\circ$ и временем сбора данных 1 секунда в каждой точке.

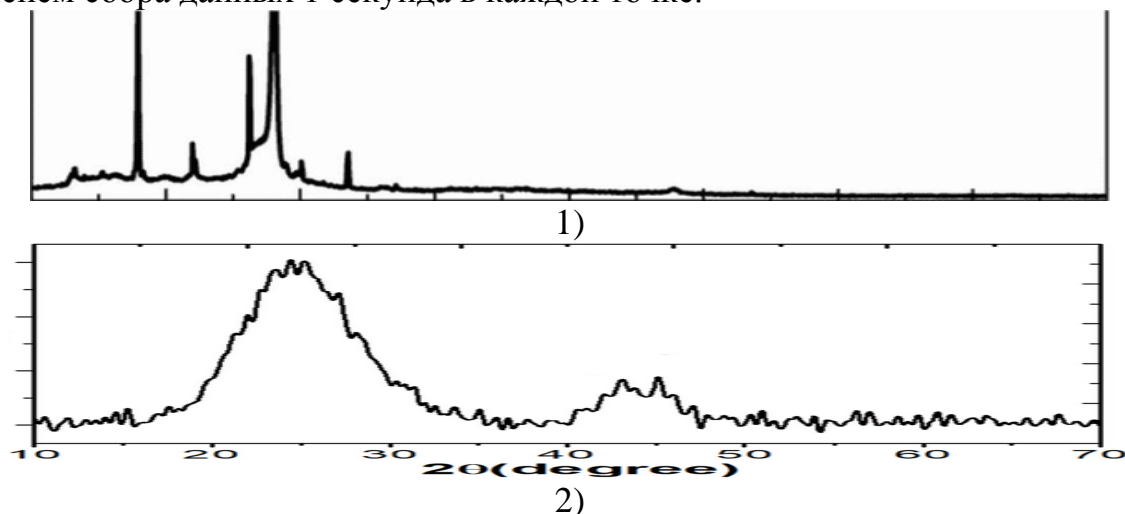


Рисунок 2. Дифрактограммы образцов: 1) бумага с меламиновым покрытием; 2) отходы шин.

Полученные дифрактограммы показывают, что некарбонизированная меламиновая бумага характеризуется широким дифракционным пиком, расположенным при $2\theta \approx 23\text{--}24^\circ$, который представляет собой графитоподобную углеродную фазу, соответствующую плоскости (002), и слабым максимумом, наблюдаемым в области $2\theta \approx 43\text{--}44^\circ$, что соответствует плоскости (100). Эта картина свидетельствует о низкой степени графитизации и преобладании аморфной фазы. Аналогичная картина дифракции рентгеновских лучей наблюдалась и для резиновых частиц: широкий пик, соответствующий (002) при $2\theta \approx 24\text{--}25^\circ$, и слабый максимум (100) в области $2\theta \approx 43^\circ$, что подтверждает преимущественно аморфную природу углеродной матрицы и наличие небольших упорядоченных доменов. При расчете по закону Брэгга расстояние d_{002} составило $\sim 0,37\text{--}0,38 \text{ нм}$ для меламиновой бумаги и $\sim 0,36\text{--}0,37 \text{ нм}$ для резиновой крошки, что типично для низкоструктурированных углеродных материалов.

Как видно из спектров ИК-Фурье, для меламиновой бумаги зарегистрирована широкая полоса в диапазоне $3200\text{--}3500 \text{ см}^{-1}$, что соответствует валентным колебаниям гидроксильных групп и адсорбированной воды. Полоса около $1640\text{--}1650 \text{ см}^{-1}$ связана с колебаниями карбонильных групп. В диапазоне $1540\text{--}1560 \text{ см}^{-1}$ наблюдаются колебания C–N, характерные для меламиновой основы, тогда как полоса при $1230\text{--}1270 \text{ см}^{-1}$ принадлежит колебаниям C–O–C эфирных связей. В спектре резиновой крошки также зарегистрирована слабая полоса, соответствующая группам –ОН, в области 3400 см^{-1} , а интенсивные полосы, соответствующие валентным колебаниям C–H алифатических цепей,

зарегистрированы при 2850 и 2920 cm^{-1} . Полоса в области 1630–1640 cm^{-1} связана с колебаниями связи C=C, характерными для ароматических и винильных фрагментов, а также колебаниями связи C–O.

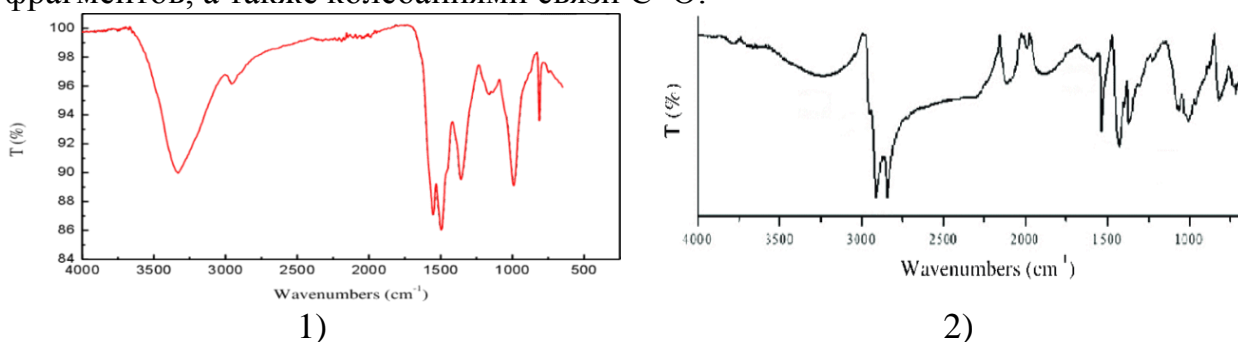
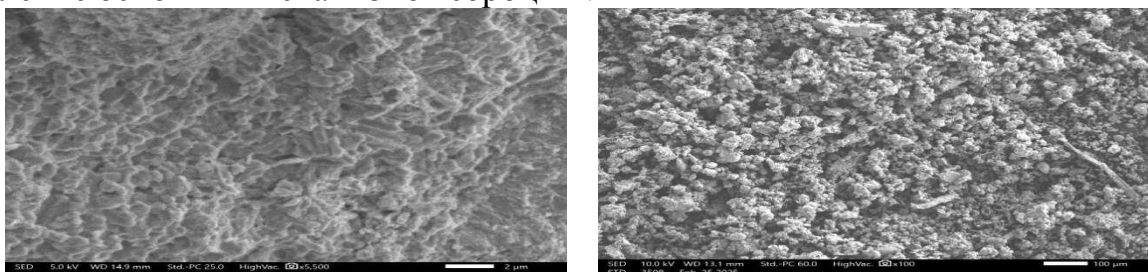


Рисунок 3. ИК-спектры образцов: 1) бумага с меламиновым покрытием; 2) отходы шин.

Меламиновая бумага имеет относительно гладкую поверхность, в которой наблюдается мелкопористая структура, свидетельствующая о наличии целлюлозного каркаса и меламиноформальдегидной смолы. Резиновая крошка характеризуется макро- и мезорельефной поверхностью в исходном состоянии, а также трещиноватой структурой, возникающей в результате термической деструкции резиновой матрицы и технического углерода.

«Получение углеродных адсорбентов на основе вторичного сырья и их структурные свойства» представлены такие важные результаты, как получение углеродных адсорбентов на основе отходов меламиновой бумаги и шин, физико-химические свойства полученных образцов, анализ низкотемпературной адсорбции молекул азота и бензола на адсорбентах, определение параметров таких моделей, как БЭТ, t-Plot, НК, Temkin, а также выявление основных механизмов сорбции.

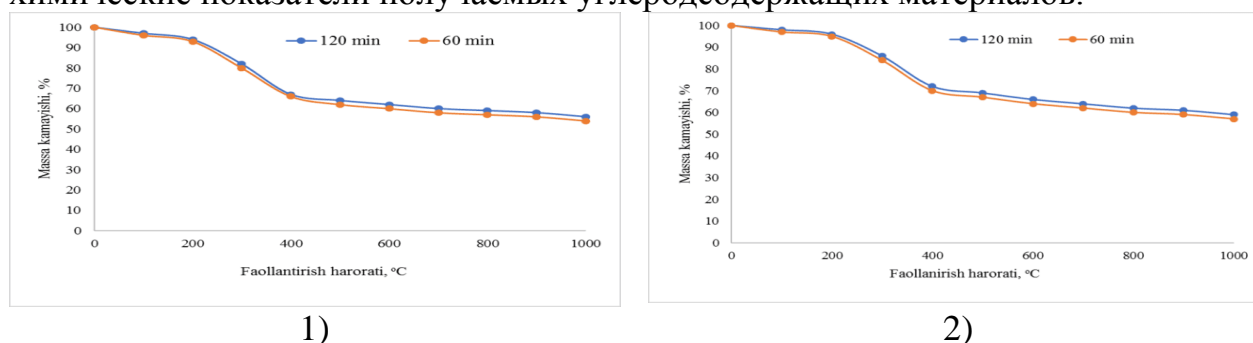


Меламиновая бумага

Чипсы от шин

Рисунок 4. Микрофотографии термически обработанных образцов.

Первоначально с целью изучения изменения параметров (температуры, времени) в процессе термической активации вторичного сырья было исследовано влияние эффективности формирования на продолжительность пиролиза и физико-химические показатели получаемых углеродсодержащих материалов.



1)

2)

Рисунок 5. Влияние продолжительности термической активации (минуты) на эффективность образования углеродсодержащих материалов: 1) макулатуры, покрытый меламином; 2) отработанных шин.

Изменение температуры и времени при термической активации является одним из основных факторов, влияющих на эффективность формирования адсорбента. Потеря массы меламиновой бумаги в интервале температур 200-400 °С составила 30-35%, а в образце отходов шин - 28-30%. Выход карбонизатов, образовавшихся в результате выделения летучих органических компонентов в образцах в интервале 400-600 о С, составил 62% для ФК-М и 66% для ФК-А при продолжительности активации 1 час, и 60 и 64% соответственно при продолжительности 2 часа. При температурах выше 700 о С начинается частичная газификация углерода, и эффективность формирования снижается с 62-66% до 54-59%. На основании полученных результатов альтернативным вариантом для обоих образцов можно считать температуру термической активации 800 °С в течение 60 минут.

Образцы, активированные КОН, имеют более высокую микропористость, чем термически активированные, но общая эффективность формования ниже. Это обусловлено реакционной способностью углеродной структуры, механизмом взаимодействия с активирующим реагентом и энергозатратами. Реагенты химической активации изменяют направление разложения органических компонентов сырья, способствуя формированию устойчивой пористой структуры на стадии карбонизации. В результате значительно увеличиваются поверхностная активность и микропористость получаемых адсорбентов.

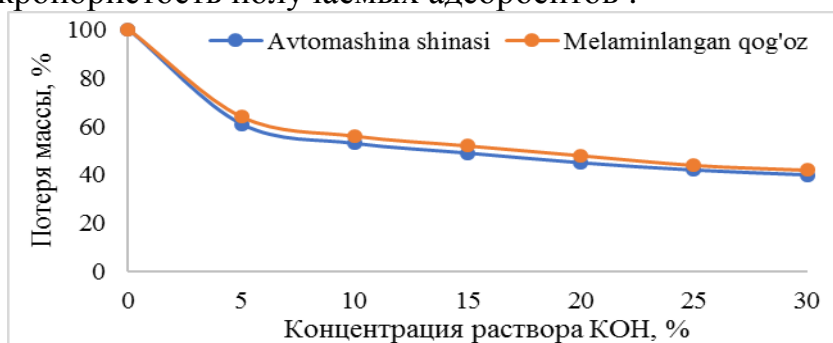
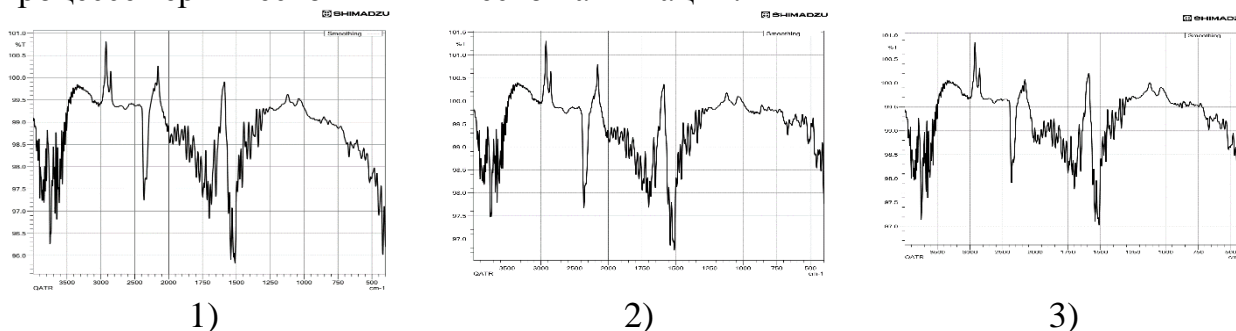


Рисунок 6. Эффективность производства углеродных материалов концентрация гидроксида калия зависимость.

ИК-спектральный анализ также важен для определения структурных преобразований получаемых углеродных материалов. Ароматические углеводороды, азотсодержащие соединения, сульфидные связи и другие типы компонентов, содержащиеся в различных видах сырья, существенно изменяются в процессе термической и химической активации.



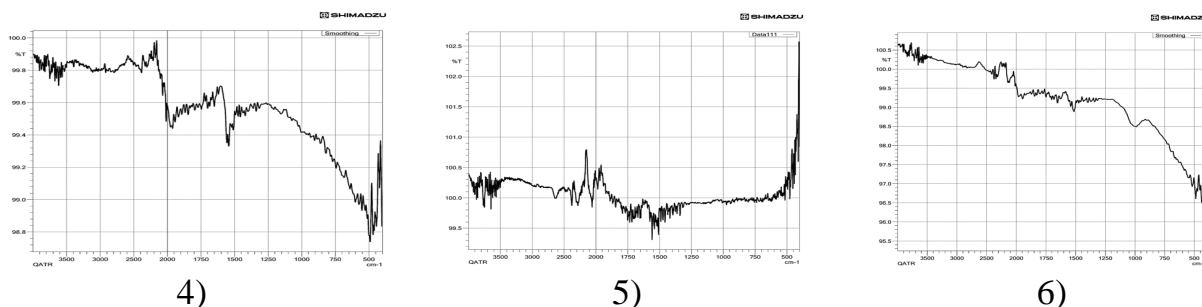


Рисунок 8. ИК-спектры угольных адсорбентов, полученных из вторичного сырья :
 1) *ФК-А:1* ; 2) *ФК-А:2* ; 3) *ФК-А:3* ; 4) *ФК-М:1* ; 5) *ФК-М:2* ; 6) *ФК-М:3*.

ИК-спектры образцов углеродных адсорбентов, полученных из вторичного сырья, активированного 10, 20 и 30% растворами КОН, наглядно демонстрируют изменения химического состава их поверхности. Широкая линия поглощения в области $3500\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ соответствует группам -OH , т.е. фенольной гидроксильной группе, OH- в карбоксильной группе и колебаниям адсорбированных молекул воды. Слабоинтенсивные пики в области $2920\text{--}2850\text{ см}^{-1}$ указывают на колебания связей C-H . Линия поглощения в области $1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ указывает на наличие карбонильных (C=O) групп, в частности, кетонных, карбоксильных или лактонных. Поглощения в области $1570\text{--}1450\text{ см}^{-1}$ приписываются связям C=C в ароматическом кольце, тогда как колебания в диапазоне $1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ приписываются функциональным группам в основании, таким как простые эфирные связи, такие как C-O-C и C-O , что указывает на образование кислородных функциональных центров на поверхности угля.

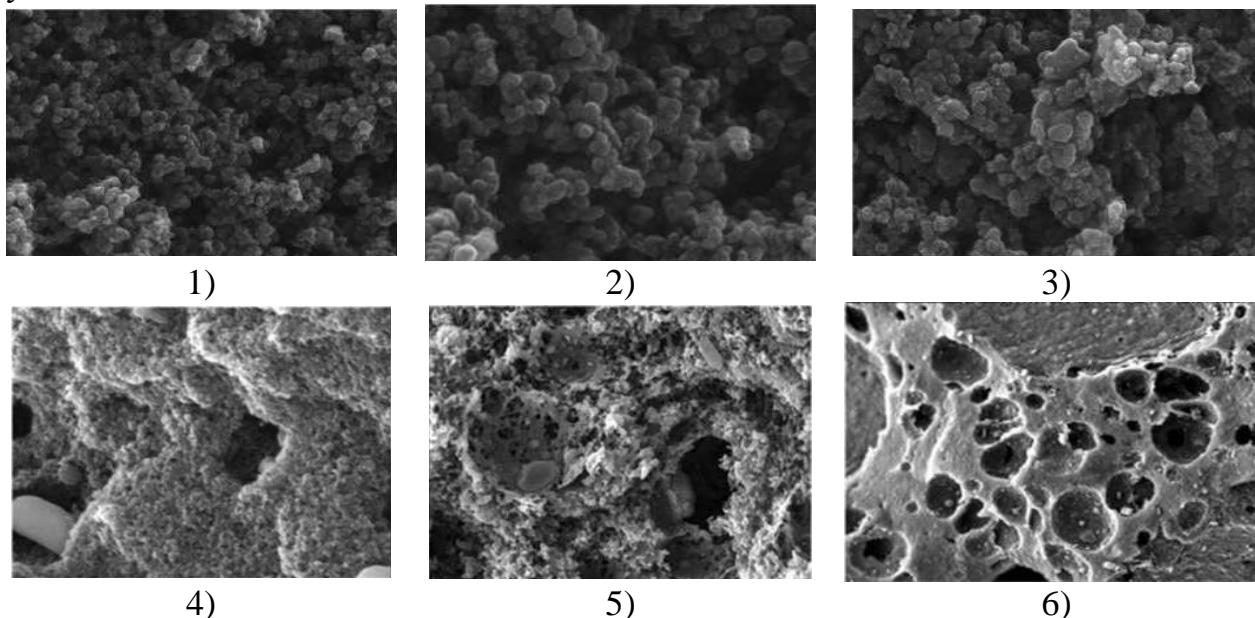


Рисунок 8. На основе остатков шин Микрофотографии термически и химически активированных углеродных адсорбентов : 1) *FK-A:400* ; 2) *FK-A:600* ; 3) *FK-A:800* ; 4) *FK-A:1* ; 5) *FK-A:2* ; 6) *FK-A:3*.

Анализ представленных изображений, полученных с помощью СЭМ, показывает, что морфология поверхности углеродов, полученных из отходов шин, претерпевает существенные изменения, напрямую связанные со степенью термической и химической активации. При начальных низких температурах на поверхности активированного образца наблюдается относительно плоская,

плотнупакованная и ограниченно пористая структура, что свидетельствует о неполном разложении полимерной матрицы шины на данном этапе. При повышении температуры до 600–800 °С происходят более сложные морфологические изменения структуры поверхности.

В процессе химической активации увеличение концентрации KOH (10%, 20%, 30%) приводило к более активному раскрытию структуры поверхности и увеличению морфологической неровности. При низких концентрациях наблюдалась преимущественно частичная активация поверхности и расширение имеющихся пор, тогда как на поверхности образцов, обработанных высококонцентрированным раствором KOH, в результате глубокого обугливания углеродных компонентов и выделения газофазных продуктов образовывались крупные трещины, каналы и взаимосвязанные системы микропор-мезопор вдоль поверхности, происходило объединение микропор, образованных на основе систем мезопор, разделение продуктов карбонизации и увеличение неровности поверхности.

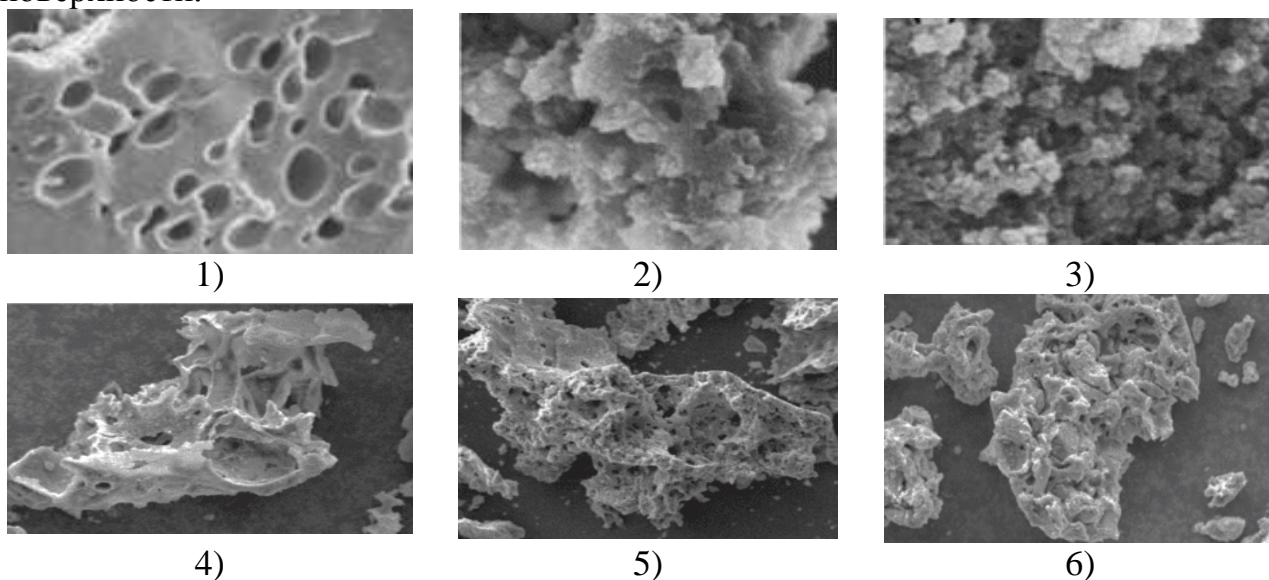
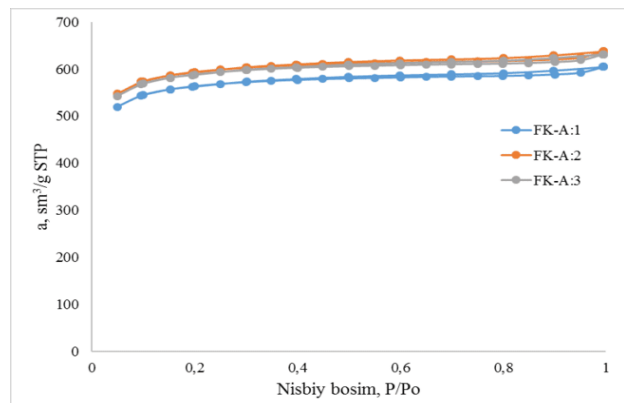
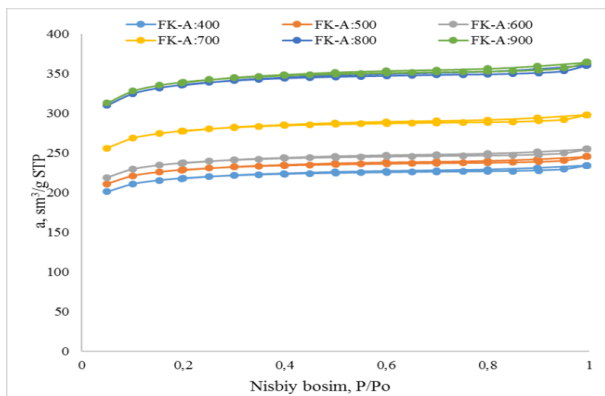


Рисунок 9. Меламин бумага останки основанный на термический и химический активирующий Микрофотографии полученных угольных адсорбентов : 1) $\Phi K - M : 400$; 2) $\Phi K - M : 600$; 3) $\Phi K - M : 800$; 4) $\Phi K - M : 1$; 5) $\Phi K - M : 2$; 6) $\Phi K - M : 3$.

Диссертация « Углерод материалов неорганический и органический к соединениям относительно адсорбционные свойства » что в главе 4 под названием образцов азот , бензол согласно адсорбция и промышленность сточные воды воды в содержании органический - загрязнитель вещества углеродистый адсорбенты с использованием эффективный адсорбция результаты представлено сделанный .

Термальным активация метод с взятый шина сырье основанный на углеродистый 77 тыс. материалов в азот адсорбция – десорбция изотермы ИЮПАК классификация соответствующий в основном комбинированный тип – микро и пустота то есть я и IV тип к изотермам подходящий Прибыло . Активация . температура 400 ° С от до 900 ° С увеличивать как результат взятый образцы в изотермах низкий родственник адсорбируется при давлениях ($P / P_0 < 0,1-0,2$) азот количество многие часть поглощение микроволновые печи от проглатывания , от этого и отверстия количество основной часть микроволновые печи организация чтобы достичь означает .

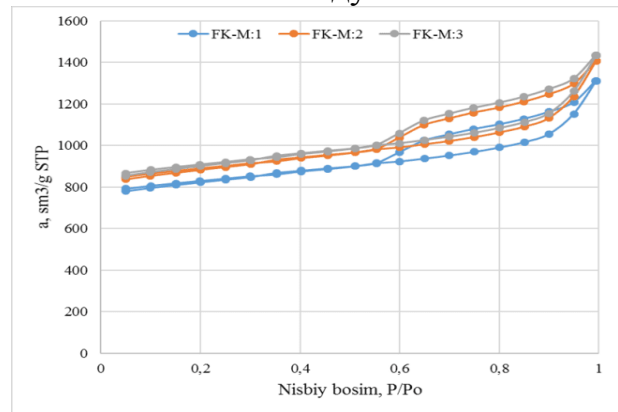
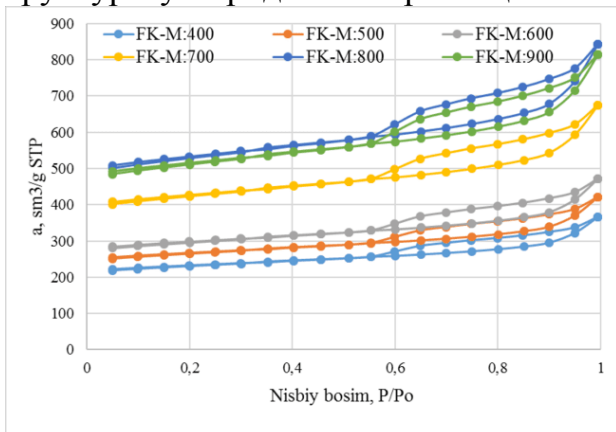


Термически активированные образцы

Химически активированные образцы

Рисунок 10. Изотермы адсорбции-десорбции азота образцов, полученных из шинного сырья.

Изотермы адсорбции-десорбции азота образцами углерода на основе химически активированного сырья автомобильных шин демонстрируют характеристики изотерм группы I по классификации ИЮПАК, однако с ростом концентрации КОН на изотермах наблюдается увеличение начального количества поглощенной жидкости при низких относительных давлениях и увеличение общего поглощенного объема абсорбента. Это явление объясняется выделением различных газов в результате первичных и вторичных химических реакций при активации КОН, образованием новых микропор в результате перестройки структуры углерода и интеркаляции металлического калия между слоями.



Термически активированные образцы

Химически активированные образцы

Рисунок 11. Изотермы адсорбции-десорбции азота образцов, полученных на основе меламинавого бумажного сырья.

Во всех образцах изотермы адсорбции-десорбции типичны для типа IV (углеродные материалы имеют микро- и мезопористую структуру и образуют петлю гистерезиса, связанную с капиллярной конденсацией).

Изотермы адсорбции-десорбции азота химически активированными углеродными адсорбентами на основе макулатуры с меламинавым покрытием в основном демонстрируют характеристики изотерм типа IV по классификации ИЮПАК. При низких относительных давлениях ($P/P_0 < 0,1$) резкий подъем изотерм свидетельствует о развитии микропор, тогда как продолжение абсорбции в области высоких давлений и появление петли гистерезиса для образцов указывают на наличие мезопор. С ростом концентрации КОН (10→30%) начальная величина абсорбции и общий адсорбционный объем на изотермах

существенно увеличиваются, что обусловлено глубоким воздействием КОН на органические компоненты в структуре углерода - интеркаляцией, образованием углекислого газа и термическим разложением, а также расширением площади поверхности, в результате чего происходит перестройка структуры пор.

Таблица 4 .

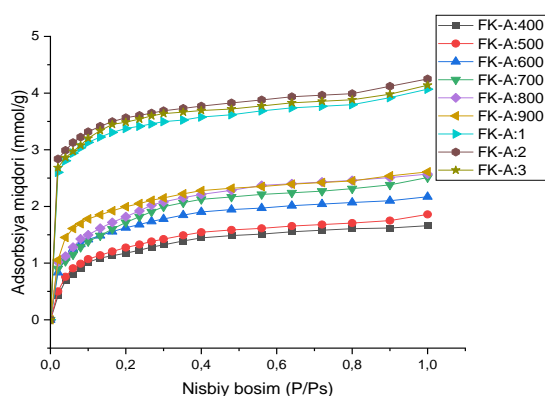
Текстурные свойства термически и химически активированных образцов

Образцы	S^I , м ² /г	$t-Plot^*$, м ² /г	V_a , см ³ /г	V_b , см ³ /г	R , Å	D , Å	D^* , Å
ФК-А:400	224,893	83,881	0,275	0,076	24,793	14,301	3,712
FC-A:500	235,902	87,987	0,288	0,079	24,528	14,291	3,677
ФК-А:600	244,896	91,342	0,299	0,082	23,376	14,248	3,626
ФК-А:700	286,493	106,857	0,350	0,096	22,548	14,074	3,512
ФК-А:800	346,529	129,249	0,423	0,116	21,724	13,815	3,428
ФК-А:900	350,090	130,577	0,427	0,117	21,718	13,807	3,426
FC-A:1	581,630	216,928	0,711	0,195	19,364	13,117	3,218
FC-A:2	613,173	228,692	0,749	0,206	18,064	13,044	3,164
ФК-А:3	607,461	226,562	0,742	0,204	180,68	13,047	3,165
ФК-М:400	218,610	69,869	0,294	0,239	47,471	14,363	4,214
ФК-М:500	250,886	80,349	0,338	0,275	46,627	14,109	4,148
ФК-М:600	280,664	89,886	0,378	0,307	45,841	13,827	4,062
ФК-М:700	401,931	128,723	0,541	0,440	44,652	13,128	3,874
ФК-М:800	501,771	160,698	0,676	0,549	43,958	12,247	3,762
ФК-М:900	484,944	155,301	0,653	0,530	43,971	12,254	3,768
ФК-М:1	780,845	250,074	1,052	0,855	42,146	12,146	3,705
ФК-М:2	838,101	268,411	1,129	0,917	41,971	12,108	3,687
ФК-М:3	854,545	273,668	1,151	0,935	41,942	12,091	3,682

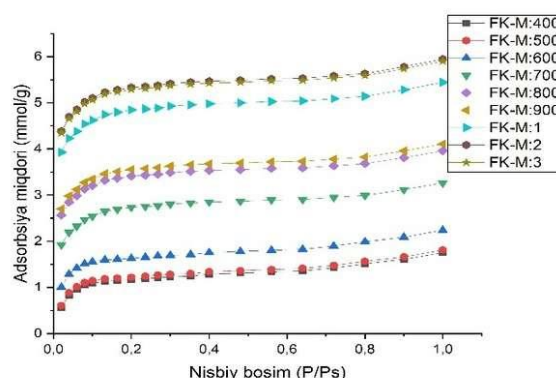
Сорбционно-структурные параметры термически и КОН-активированных образцов ФК-А демонстрируют существенную зависимость от условий их активации. Установлено, что с ростом температуры при термической активации (ФК-А:400–900) площадь поверхности по БЭТ (S^I) увеличивается с 224,9 м²/г до 350,1 м²/г, что объясняется образованием микропор в углеродной структуре и их расширением. Химическая активация КОН обеспечивает существенно более высокие сорбционные параметры: при концентрациях КОН 10, 20 и 30% (ФК-А:1–3) площадь поверхности по БЭТ находится в диапазоне 581,6–613,2 м²/г, а общий адсорбированный объем увеличивается до 0,711–0,749 см³/г.

Результаты термохимической (КОН) активации образцов ФК-М из меламина макулатуры показывают более выраженную динамику пористости. При термоактивации (ФК-М:400–900) площадь поверхности по БЭТ увеличилась с 218,6 м²/г до 501,8 м²/г, а общий объем – с 0,294 см³/г до 0,676 см³/г, что свидетельствует об образовании микропор в интервале температур 400–800 °С и их последующей трансформации в мезопористые. При 900 °С наблюдается уменьшение площади адсорбции на поверхности за счет частичного слияния стенок пор. Наиболее высокие сорбционные параметры продемонстрировали образцы, активированные КОН (ФК-М:1–3), достигнув площади поверхности

780,8–854,5 м²/г и общего адсорбированного объема 1,052–1,151 см³/г. Этот процесс связан с разложением азотистых компонентов в структуре меламина и перестройкой углеродной структуры под воздействием КОН, приводящей к образованию не только микропор, но и расширенной системы мезопор.



Образцы, взятые из отходов шин



Образцы, полученные из отходов меламиновой бумаги

Рисунок 12. Изотермы адсорбции паров бензола полученными углеродными материалами.

Видно, что максимальная адсорбционная ёмкость постепенно увеличивается с ростом температуры термической активации (400–900 °С), что свидетельствует об углублении карбонизации структуры угля при высоких температурах, увеличении размера пор и средней площади поверхности. Отмечено, что количество адсорбированного бензола увеличивается с 1,66 ммоль/г до 2,61 ммоль/г соответственно при повышении температуры активации от 400 °С до 900 °С.

Химически активированные образцы (FK-A:1, FK-A:2, FK-A:3) обладают более высокой эффективностью адсорбции по сравнению с термически активированными образцами, что свидетельствует о том, что активация КОН сформировала систему микропор и мезопор в углеродном скелете и увеличила поверхностную энергию относительно молекул бензола.

Как видно из изотерм адсорбции паров бензола углеродистыми материалами, полученными из макулатуры, обработанной меламином, величина адсорбции существенно увеличивается в результате повышения температуры термической активации (400–900 °С) и увеличения концентрации химического активирующего реагента.

Адсорбция паров бензола осуществляется преимущественно за счёт сил Ван-дер-Ваальса и π–π-взаимодействий в микропористой и мезопористой структурах угольной поверхности. В результате разложения меламинового компонента, введённые в поверхность азотистые функциональные группы (–NH₂, –CN, –C–N–) могут образовывать дополнительные донорно-акцепторные связи с молекулами адсорбата, что увеличивает энергию адсорбции. При этом в процессе термической активации часть функциональных групп разрушается, но химическая активация частично компенсирует эту потерю и восстанавливает поверхность.

Структурные и сорбционные свойства адсорбентов, рассчитанные на основе изотерм адсорбции бензола и уравнений БЭТ, представлены в таблице ниже.

Таблица 5 .

Об адсорбции паров бензола угольными адсорбентами
структурно-сорбционные показатели

№	Образцы	Емкость монослоя , a_m , м моль/Г	Относительная плотность , S , м ² /Г	Объем микропор, V_a , см ³ /Г	Объем мезопор, V_b , см ³ / Г	Средний радиус пор $r_{ор}$, Å
1	ФК-М:400	0,841	202.40	0,128	0,058	15.4
2	ФК-М:500	0,877	211.14	0,132	0,029	15.2
3	ФК-М:600	1,158	278.96	0,166	0,030	14.2
4	ФК-М:700	1,909	459.72	0,261	0,031	12.6
5	ФК-М:800	2,373	571.36	0,321	0,031	12.3
6	ФК-М:900	2,471	594.94	0,333	0,031	12.2
7	ФК-М:1	3,354	807.65	0,449	0,033	11.9
8	ФК-М:2	3,686	887.58	0,492	0,035	11.9
9	ФК-М:3	3,658	880.92	0,488	0,035	11.9
10	ФК-А:400	0,751	180,75	0,118	0,025	15.9
11	ФС-А:500	0,974	23449	0,138	0,027	14.1
12	ФК-А:600	1,217	293.00	0,164	0,028	13.1
13	ФК-А:700	1,337	322.01	0,163	0,059	13.8
14	ФК-А:800	1,404	338.04	0,173	0,051	13.5
15	ФК-А:900	1,473	354.59	0,203	0,028	13.0
16	ФС-А:1	2,378	572.65	0,311	0,027	11.8
17	ФС-А:2	2,511	604.72	0,325	0,027	11.8
18	ФК-А:3	2,465	593.47	0,320	0,026	11.6

Каждый два в материале пещер средний радиус от 16 Å до 12 Å уменьшилось микроволновые печи преимущество что делается , то есть что адсорбция в основном микроволновая печь в структурах пройти значит . Итак , химическое активация эффект термический активировать относительно много Глубже быть , это процесс как результат урожай был высокий поверхность в поле есть микроволновая печь структуры разработанный , бензол к парам относительно высокий адсорбция до предела имеет уголь адсорбенты взято .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Определены оптимальные условия проведения процессов физико-химической активации углеродных материалов, полученных из вторичного органического сырья, при этом определена температура активации 800 °С и соотношение сырье:активирующий реагент (1:20 %).

2. Текстурно-функциональные свойства углеродных сорбентов исследованы методами ИК-спектроскопии, ТГ-ДТА, РФА и СЭМ. В процессе термической активации установлено, что в образцах, полученных из меламиновой макулатуры, частично сохраняются аминные, фенольные и карбоксильные группы, тогда как после стадии химической активации функциональные группы типа –ОН, –С=О и –СООН образуют активные поверхностные центры в образцах, полученных из обоих видов сырья.

3. С повышением температуры активации, по данным анализа адсорбции-десорбции азота, удельная площадь поверхности (S_1) увеличивается с 218,61 до

501,77 м²/г для ФК-М и с 224,89 до 350,09 м²/г для ФК-А. Также установлено, что площадь поверхности микропор (69,87→160,70 для ФК-М и 83,88→130,58 для ФК-А) и объём микро-мезопор увеличиваются почти в полтора раза.

4. Установлено, что текстурные свойства химически активированных сорбентов резко возрастают по сравнению с термически активированными образцами. Так, для образца ФК-А:800 площадь поверхности составила 346,53 м²/г, тогда как для ФК-А:3 этот показатель увеличился до 607,46 м²/г, а для ФК-М:800 – с 501,77 м²/г до 854,545 м²/г для ФК-М:3. При этом установлено, что при увеличении концентрации активирующего реагента от 20% до 30% сорбция не оказывает существенного влияния на структурные свойства (613,17→607,46 м²/г для образца ФК-А и 838,10→854,54 м²/г для образца ФК-М).

5. С увеличением температуры термообработки и концентрации активирующего реагента наблюдается рост адсорбционной эффективности образцов по парам бензола. Это отражает более эффективное развитие пористой структуры с ростом температуры за счет сгорания летучих компонентов и образования микропор.

6. Термоактивированные углеродные адсорбенты на основе вторичного органического сырья позволяют удалить из сточных вод нефть и нефтепродукты на 55–62%, фенолы – на 59–68%, ионы тяжелых металлов – на 74–83%, сульфидные соединения – на 81–87%, аммиак и аммоний – на 75–81%. По сравнению с термоактивированными образцами эффективность углеродных адсорбентов на основе КОН в очистке сточных вод от органических и минеральных соединений возросла в 1,2–1,5 раза, а по сравнению с контрольным углеродным адсорбентом – в 2 раза.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
PhD.03/08.05.2025.K/T.130.04 AT THE KOKAND STATE UNIVERITY**

KOKAND STATE UNIVERITYISTRY

KHAMZAKHUZHAEV ASRORHUZHA

**PREPARATION OF HIGH-SORPTION MATERIALS BASED ON SECONDARY
ORGANIC RAW MATERIALS AND INVESTIGATION OF THEIR ADSORPTIVE
PROPERTIES**

02.00.11 – Colloid and membrane chemistry

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

Kokand -2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистана под номером B2024.4.PhD/K902.

Диссертация выполнена в Кокандском государственном университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.kokandsu.uz и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу www.ziyonet.uz.

Научный руководитель:	Пайгамов Рахимжон Абдукаюмович доктор философии (PhD) по химии, доцент
Официальные оппоненты:	Маматалиев Нозим Нимаджанович доктор химических наук Абдулхаев Толибжон Долимжонович доктор химических наук, доцент
Ведущая организация:	Ташкентский химико-технологический институт

Защита состоится 27 декабря 2025 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.03/08.05.2025.К/Т.130.04 при Кокандском государственном университете по адресу: 150700, г. Коканд, ул. Туруна, 23. Тел.: (+99873) 542-38-38, (+99873) 542-02-57; faks: (+99873) 542-38-38, e-mail: kokandsu@exat.uz.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Кокандском государственном университете за № 29, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (150700, г. Коканд, ул. Туруна, 23. Тел.: (+99873) 542-38-38, (+99873) 542-02-57; faks: (+99873) 542-38-38, e-mail: kokandsu@exat.uz).

Автореферат диссертации разослан 16 декабря 2025 года.
(Реестр за № 4 от 16 декабря 2025 года).



В.У.Хужаев
Председатель научного совета по присуждению
ученой степени, д.х.н., проф.

Н.В.Валиев
Ученый секретар научного совета по присуждению
ученой степени, PhD., доц

Г.М. Очиллов
Председателя научного семинара при научном совете
по присуждению ученой степени, д.х.н., проф.

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work: is to carry out thermal and chemical activation based on secondary organic raw materials, to determine their structure and adsorption properties.

The object of the research work: Thermally and chemically activated carbon adsorbent samples were selected based on melamine-coated paper and car tire waste (FK-M, FK-A).

The scientific novelty of the dissertation research consists is as follows:

– the effect of carbonization temperature and the amount of chemical activating agent (KOH) on the pore structure in the process of obtaining carbon adsorbents based on secondary organic raw materials was systematically studied, it was proved that samples obtained at a concentration ratio of 1:20% were characterized by the highest surface area (600-880 m²/g) and the development of micropores;

– the thermal stability of carbon adsorbents obtained from car tire and melamine paper waste and the physicochemical changes occurring after the activation process were studied using IR, XRD, TG/DTA and SEM analytical methods;

– for the first time, the surface area, pore size and distribution, the presence of functional groups, as well as their structure and texture parameters of carbon adsorbents obtained from melamine paper raw materials were determined;

– the adsorption capacity of the obtained carbon adsorbents for inorganic and organic compounds, the maximum adsorption capacity, surface area, pore size and distribution, and adsorption mechanisms were scientifically substantiated;

– carbon adsorbents tested in oil industry wastewater at room temperature purified oil and oil products by 87-88%, phenolic compounds by 85-86%, and the amount of mineral impurities and water-soluble fats by 90-97%. In this process, the absorption of organic pollutant particles due to rapid diffusion and adsorption of molecules at the water-organic phase boundary was scientifically substantiated.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the production of thermal and chemically activated carbon adsorbents:

A method for producing thermally activated carbon adsorbents based on secondary organic raw materials has been developed and their application methods have been included in the list of promising developments to be implemented in the practice of “Fergana Oil Refinery” LLC in 2026-2030. (Based on the reference of “Fergana Oil Refinery” LLC dated September 10, 2025 No. 15/116). Based on the results obtained, it was possible to purify water-containing oil and oil products by 55–62%, phenols by 59–68%, heavy metal ions by 74–83%, sulfide compounds by 81–87%, and ammonia and ammonium by 75–81%;

The method of adsorption purification of thermally and chemically activated carbon materials was put into practice, which was implemented at Fergana Oil Refinery LLC (based on the reference of Fergana Oil Refinery LLC No. 15/116 dated September 10, 2025). As a result, the efficiency of purification of organic and mineral compounds in wastewater by KOH-activated carbon adsorbents increased by 1.2-1.5 times compared to thermally activated samples, and by 2 times compared to the control carbon adsorbent.

The structure and scope of the thesis. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a bibliography and an appendix. The volume of the thesis is 96 pages.

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

I bo'lim (I част; part I)

1. R.A. Payg'amov, A.A. Xamzaxo'jayev, M.I. Payg'amova Daraxt poyalari chiqindilari asosida olingan uglerodli adsorbentlarning adsorbsion xossalari Qo'qon DPI. Ilmiy xabarlar. 2023 yil 2-son, 168-172 b. (ЎЗР ОАК Раёсатининг 31.03.2021 даги №01-07/1368 қарори)

2. A.A. Xamzaxo'jayev, M.I. Payg'amova, G'.M. Ochilov, R.A. Payg'amov Ikkilamchi xomashyolar asosida uglerodli adsorbentlar olish va ularning fizik-kimyoviy xossalari o'rganish FarDU. Ilmiy xabarlar 2023/№5, 52-56 b. (02.00.00., №17)

3. A.A. Khamzakho'jaev, M.I. Paygamova, G'.M. Ochilov, R.A. Paygamov Adsorption of Benzene Vapors on Carbon Adsorbents Based on Secondary Raw Materials International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 11, Issue 8, August 2024 pp. 22163-22166 (05.00.00., № 8)

4. Пайгамова М.И., Хамзахужаев А.А., Очилов Г.М., Пайгамов Р.А. Исследование влияния химической активации на адсорбционную активность растительного угля по отношению к бензолу Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2024. 9 (123). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/18091> с.12-16. (02.00.00., № 2).

5. A.A. Xamzaxo'jayev Melaminlangan qog'oz chiqindilaridan olingan uglerodli adsorbentlarning benzolga nisbatan adsorbsion faolligini o'rganish Qo'qon DPI. Ilmiy xabarlar. 2025 yil 4-son, 190-196 b. (ЎЗР ОАК Раёсатининг 31.03.2021 даги №01-07/1368 қарори).

6. Paygamova M., Khamzakhojayev A., Ochilov A., Paygamov R. Physicochemical properties of carbon adsorbents derived from renewable biomass Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. Volume 10, Issue 2, 2025. pp. 121-130 (05.00.00 № 33).

7. A.A. Xamzaxo'jayev, M.I. Payg'amova Melaminlangan qog'oz chiqindilarining termik tahlili va ushbu xomashyodan uglerodli adsorbentlar olish imkoniyatlari Development of science Ilmiy jurnali 2025/7 volume 5, 119-125 b. (O'zR OAK Rayosatining 27.09.2024 daqi №361-son qarori).

II bo'lim (II часть; part II)

8. A.A. Xamzaxo'jayev, M.I. Payg'amova Uglerodli xomashyolar asosida ko'mir adsorbentlar olish. Материалы международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана" Ташкент 16-17 ноября 2023 года, с 334-336.

9. A.A. Xamzaxo'jayev Uglerodli xomashyolar asosida olingan ko'mir adsorbentlarning fizikaviy hususiyatlari "Fizikaviy va kolloid kimyo fanlarining fundamental va amaliy muammolari hamda ularning innovatsion yechimlari" mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to'plami, Namangan 2024-yil 9-10-fevral, 577-579 b.

10. R.A.Payg‘amov, I.D.Eshmetov, A.A.Xamzaxo‘jayeв, I.L. Axmadjonov O‘simlik chiqindilari asosida olingan uglerodli adsorbentlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” mavzusidagi I-xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari II-sho‘ba to‘plami Qo‘qon 2024 yil 22-may, 183-185 b.

11. M.I. Payg‘amova, A.A. Xamzaxo‘jayeв O‘simlik ko‘mirining benzolga nisbatan adsorbsion faolligiga termik faollantirishning ta'sirini o‘rganish “Kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy amaliy anjuman materiallari Urganch 2024-yil 21-22-iyun, 145-148 b.

12. A.A.Xamzaxo‘jayeв, R.A. Payg‘amov Melaminlangan qog‘oz chiqindilaridan faollashtirilgan uglerodli adsorbentlar olish «Роль коллоидной химии в сфере нефтегазопереработки, химической технологии и экологии» Материалы I-Международной научно-технической конференции, 10-11 октября 2024 г Ташкент, с.91-93.

13. A.A.Xamzaxo‘jayeв, R.A.Payg‘amov Melaminlangan qog‘oz chiqindilari asosida olingan uglerodli materiallarning ahamiyati “Ishlab chiqarish korxonalarida innovatsion, resurstejamkor texnika va texnologiyalarni joriy etish hamda atrofmuhitni muhofaza qilishning dolzarb muammolari va yechimlari” mavzusidagi II Xalqaro ilmiy anjuman materiallar to‘plami I qism Farg‘ona 2025-yil 18-19 aprel 161-164 b.