Sifatli ta’lim – yorqin kelajak

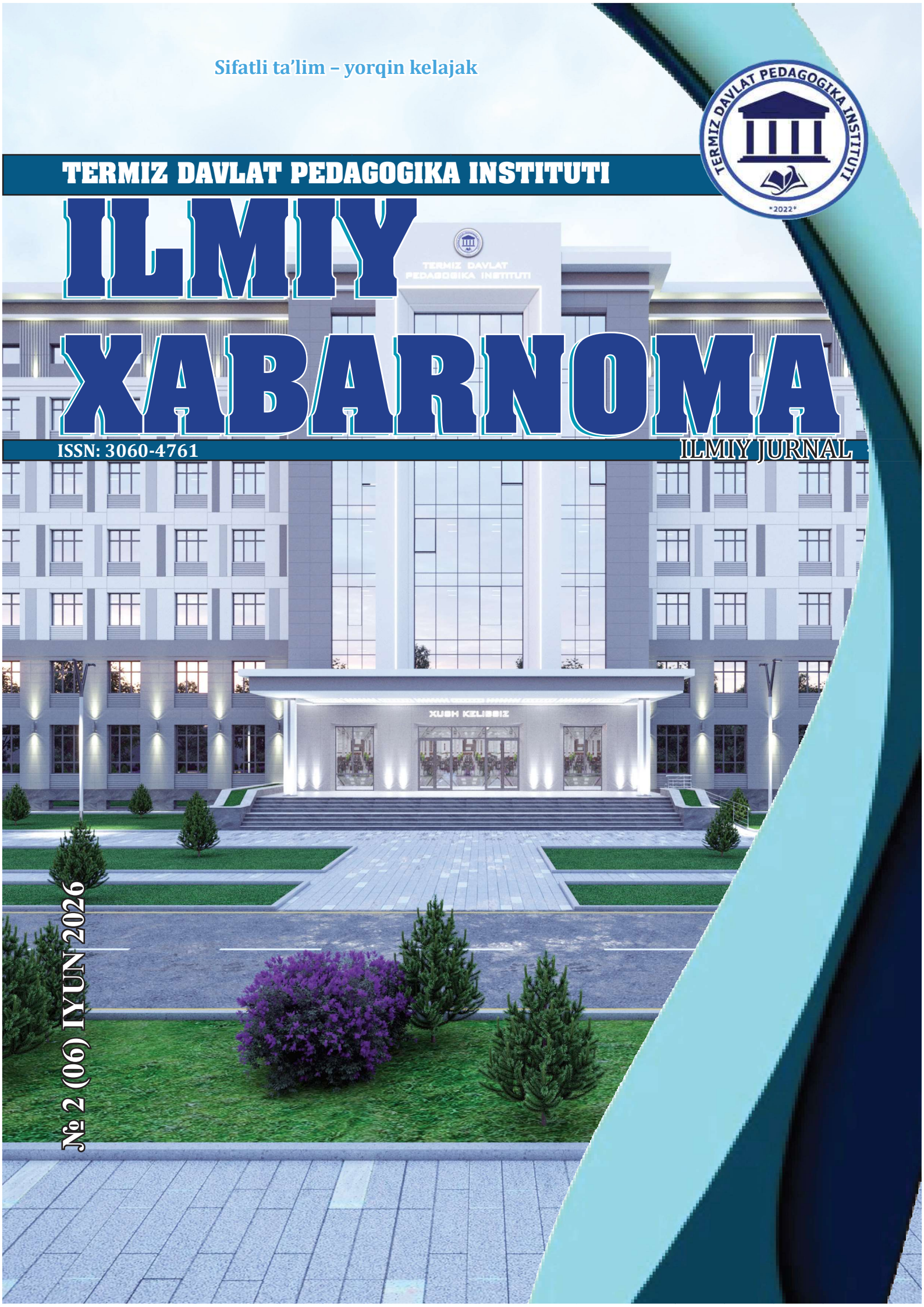
TERMIZ DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI

ILMIY XABARNOMA

ISSN: 3060-4761

ILMIY JURNAL

№ 2 (06) IYUN 2026



SIFATLI TA'LIM – YORQIN KELAJAK

ISSN: 3060-4761

TerDPI ILMIY XABARNOMASI / SCIENTIFIC BULLETIN OF THE TerSPI / НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ТерГПИ

TERMIZ DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI
ILMIY XABARNOMASI

SCIENTIFIC BULLETIN OF TERMEZ STATE
PEDAGOGICAL INSTITUTE

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ТЕРМЕЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TERDPI ILMIY XABARNOMASI

2026/ № 2



O'zR OAK ning 2025-yil 24-sentabrdagi
375/5-sonli qarori bilan milliy ilmiy nashrlar
ro'yxatiga kiritilgan

Termiz – 2026

ISSN: 3060-4761

Muassis:
Termiz davlat pedagogika instituti

TERMIZ DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARNOMASI

ILMIY-USLUBIY JURNAL
Jurnal bir yilda bosma va elektron (o'zbek, rus, ingliz tillarida) shaklda chop etiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan 2024-yil 6-iyundagi № 303723-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan.

Matnlarda foydalanilgan manba, ko'chirma, mazmun va ma'lumotlar aniqligi uchun mualliflar javobgar. Jurnaldan ko'chirib bosilganda manba qayd etilishi shart.

Bosishga ruxsat etildi: 12.06.2026
Qog'oz bichimi: 70x85
Bosma tabog'i: 26,25
Ofset bosma. Ofset qog'ozi.
Adadi: 100 nusxa
Bahosi kelishilgan narxda.
Buyurtma: 174
Tahririyat manzili: Termiz tumani "Yangiobod" MFY, At-Termiziy ko'chasi 1-A uy.
"TerDU bosmaxonasi"da chop etildi.
Bosmaxona manzili: Termiz shahri, A.Navoiy ko'chasi, 42 uy.

BOSH MUHARRIR:
Xasanov Azizbek, pedagogika fanlari doktori (DSc), professor

BOSH MUHARRIR O'RINBOSARI:
Kuldasheva Shaxnoza, kimyo fanlari doktori (DSc), professor

TEXNIK MUHARRIR:
Qurbanov Abdimalik, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

MAS'UL KOTIB:
To'rayev Ro'ziboy, pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

TAHRIR HAY'AT A'ZOLARI:
Bernd Müller-Jacquier,f.f.d, professor (Germaniya)
Ponomaryova Lyudmila, p.f.d, professor (Rossiya)
Gerasyov Aleksandr, p.f.d, professor (Rossiya)
Buligina Yelena, f..f.d, professor (Rossiya)
Eshmetov Izzat, t.f.d, professor (O'zbekiston)
Abdikamalova Aziza, k.f.d, professor (O'zbekiston)
Salixanova Dilnoza, t.f.d, professor (O'zbekiston)
Jumaeva Dilnoza, t.f.d, professor (O'zbekiston)
Sagdullayeva Dilafruz, t.f.d, professor (O'zbekiston)
Turamuratov Ulug'bek, PhD, dotsent (O'zbekiston)
Norbo'tayev Xo'shboq, p.f.d,(DSc) professor (O'zbekiston)
To'rayev Rasul, f.m.f.n, professor (O'zbekiston)
Shamuratova Nagima, q.x.f.d. (DSc), professor (O'zbekiston)
Saidov Chorixon, f.m.f.d, professor (O'zbekiston)
Bozorov Lutfulla, k.f.d., (DSc) (O'zbekiston)
Mahmudov Yusup, p.f.d, professor (O'zbekiston)
Xudoyqulov Xol, p.f.d, professor (O'zbekiston)
Alimov Parda, f.f.d, professor (O'zbekiston)
Xoliqnazarov Begali, b.f.n, dotsent (O'zbekiston)
Qodirov Baxtiyor, PhD, dotsent (O'zbekiston)
Tojiyev Panji, t.f.d,(DSc), dotsent (O'zbekiston)
Qosimov Shavkat, PhD, professor (O'zbekiston)
Saidaxmatov Sharifbek, t.f.f.d., PhD,dotsent (O'zbekiston)
Xudoyberdiyev Shuxrat, PhD,dotsent (O'zbekiston)
Umarov Aziz, PhD (O'zbekiston)
Abduraxmonov Eldor, k.f.d, ,(DSc), professor (O'zbekiston)
Shabbazova Dilfuza, PhD, dotsent (O'zbekiston)
Nuritdinova Xurshida, PhD (O'zbekiston)
Quvvatova Mohira, PhD (O'zbekiston)
Mardonova Lobar, PhD, dotsent (O'zbekiston)
Nurmatov Norqobil, q.x.f.d, (DSc), professor (O'zbekiston)
Ismailov Botir, PhD, (O'zbekiston)
Sattorov Sardor, PhD (O'zbekiston)
Allamuradov Anvar, PhD, dotsent (O'zbekiston)
Kabilova Sayyora, PhD (O'zbekiston)
Ismailov Murodulla, PhD, dotsent (O'zbekiston)
Eshmuradov Olmosbek, PhD,dotsent (O'zbekiston)
Isayev Oybek, Phd (O'zbekiston)
Norliyev Rustam, f.f.n, dotsent (O'zbekiston)
Berdiyeva Muhabbat, Phd, professor (O'zbekiston)
Shirnazarova Zamira, Phd,dotsent (O'zbekiston)
Narbasheva Mexri, p.f.n, professor (O'zbekiston)
Kuzimurotova Dinara, Tahririy-nashriyot bo'limi muharriri (O'zbekiston)

ISSN: 3060-4761

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:
Хасанов Азизбек, доктор педагогических наук (DSc), профессор.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:
Кулдашева Шахноза, доктор химических наук (DSc), профессор

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР:
Курбанов Абдималик, доктор философии по техническим наукам (PhD)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:
Тураев Рузибой, доктор философии по педагогическим наукам (PhD)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:
Бернд Мюллер-Жакье, д.ф.н., профессор (Германия)
Пономарева Людмила, д.п.н., профессор (Россия)
Герасёв Александр, д.п.н., профессор (Россия)
Булыгина Елена, д.ф.н., профессор (Россия)
Эшметов Иззат, д.т.н, профессор (Узбекистан)
Абдикамалова Азиза, д.к.н., профессор (Узбекистан)
Салиханова Дильноза, д.т.н, профессор (Узбекистан)
Джумаева Дильноза, д.т.н, профессор (Узбекистан)
Сагдуллаева Дилафруз, д.т.н, профессор (Узбекистан)
Турамурадов Улугбек, д.ф.п.н, доцент (Узбекистан)
Норбутаев Хушбок, д.п.н, профессор (Узбекистан)
Тураев Расул, к.ф.м.н, профессор (Узбекистан)
Шамуратова Нагима, д.с.н, профессор (Узбекистан)
Саидов Чорихон, д.ф.м.н, профессор (Узбекистан)
Бозоров Лутфулла, д.т.н. (Узбекистан)
Махмудов Юсуп, д.п.н, профессор (Узбекистан)
Худойкулов Хол, д.п.н, профессор (Узбекистан)
Алимов Парда, ф.ф.н, профессор (Узбекистан)
Халикназаров Бегали, к.б.н, доцент (Узбекистан)
Кодиров Бахтиёр, д.ф.п.н, доцент (Узбекистан)
Таджиев Панджи, д.т.н., доцент (Узбекистан)
Касимов Шавкат, д.ф.п.н, профессор (Узбекистан)
Саидахматов Шарифбек, д.ф.и.н, доцент (Узбекистан)
Худойбердиев Шухрат, д.ф.п.н, доцент (Узбекистан)
Умаров Азиз, д.ф.п.н, (Узбекистан)
Абдурахманов Эльдор, д.х.н., профессор (Узбекистан)
Шаббазова Дилфуза, д.ф.п.н, доцент (Узбекистан)
Нуритдинова Хуршида, д.ф.п.н (Узбекистан)
Кувватова Махира, д.ф.п.н (Узбекистан)
Мардонова Лобар, д.ф.ф.н, доцент (Узбекистан)
Нурматов Норкабил, д.с.н., профессор (Узбекистан)
Исмаилов Ботир, д.ф.п.н (Узбекистан)
Сатторов Сардор, д.ф.п.н (Узбекистан)
Алламурадов Анвар, д.ф.п.н. доцент (Узбекистан)
Кабилова Сайёра, д.ф.ф.н, (Узбекистан)
Исмаилов Муродулла, д.ф.п.н, доцент (Узбекистан)
Эшмурадов Олмосбек, д.ф.п.н, доцент (Узбекистан)
Исаев Ойбек, д.ф.и.н (Узбекистан)
Норлиев Рустам, к.ф.н., доцент (Узбекистан)
Бердиева Мухаббат, д.ф.п.н, профессор (Узбекистан)
Ширназарова Замира, д.ф.ф.н, доцент (Узбекистан)
Нарбашева Мехри, к.п.н. профессор (Узбекистан)
Кузимуротова Динара, редактор редакционно-издательского отдела, (Узбекистан).

Основатель:
Термезский государственный педагогический институт

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ТЕРМЕЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Журнал издается в печатном и электронном виде (на узбекском, русском, английском языках) в течение одного года.

Зарегистрировано Агентством информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан свидетельством № 303723 от 6 июня 2024 года.

Авторы несут ответственность за достоверность источников, выдержек, содержания и информации, используемых в текстах. При копировании из журнала необходимо указывать источник.

Разрешение получено: 12.06.2026.
Размер бумаги: 70x85.
Печатная форма: 26,25.
Офсетная печать.
Офсетная бумага.
Количество: 100 экз.
Цена указана по договорённой цене.
Заказ: 174
Адрес редакции: Термезский район, «Янгиабад» МФМ, улица Ат-Термизи, дом 1-А.
Отпечатано в типографии «ТерГУ».
Адрес типографии: город Термез,улица А.Навоий, дом 42.

ISSN: 3060-4761

Founder:
Termiz State Pedagogical Institute

SCIENTIFIC BULLETIN OF TERMEZ STATE PEDAGOGICAL INSTITUTE

SCIENTIFIC-METHODICAL JOURNAL

The magazine is published in printed and electronic form (in Uzbek, Russian, English) in one year.

Registered by the Information and Mass Communications Agency under the Presidential Administration of the Republic of Uzbekistan with certificate No. 303723 dated June 6, 2024.

The authors are responsible for the accuracy of the sources, excerpts, content and information used in the texts. When copying from a journal, the source must be noted.

Permission to print: 12.03.2026
Paper size: 70x85
Printing plate: 26.25
Offset printing.
Offset paper.
Quantity: 100 copies
Price at the agreed price.
Order: 174
Editorial address: Termez district, «Yangiabad» MCK, At-Termiziy street, 1-A.
Printed at the "TerSU printing house". Address: Termez city, A.Navoiy street, 42.

THE EDITOR-IN-CHIEF:
Xasanov Azizbek, Doctor of Pedagogical Sciences (DSc), Professor

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:
Kuldasheva Shakhnoza, Doctor of Chemical Sciences (DSc), Professor

TECHNICAL EDITOR:
Qurbanov Abdimalik, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences

RESPONSIBLE SECRETARY:
Turaev Ruziboy, Doctor of Philosophy (PhD) in Pedagogical Sciences

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:
Bernd Müller-Jacquier, Doctor of Philological Sciences, Professor (Germany)
Ponomaryova Lyudmila, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia)
Gerasyov Aleksandr, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia)
Buligina Yelena, Doctor of Philological Sciences, Professor (Russia)
Eshmetov Izzat, Doctor of Technical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Abdikamalova Aziza, Doctor of Chemical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Salikhanova Dilnoza, Doctor of Technical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Jumaeva Dilnoza, Doctor of Technical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Sagdullayeva Dilafruz, Doctor of Technical Sciences, Professor (Uzbekistan)
To'ramuratov Ulug'bek, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Norbo'tayev Xo'shboq, Doctor of Pedagogical Sciences (DSc), Prof. (Uzbekistan)
To'rayev Rasul, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Prof. (Uzbekistan)
Shamuratova Nagima, Doctor of Agricultural Sciences (DSc), Prof. (Uzbekistan)
Saidov Chorikhon, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof. (Uzbekistan)
Bozorov Lutfulla, Doctor of Technical Sciences (DSc), (Uzbekistan)
Mahmudov Yusup, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Khudoyqulov Khol, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Parda Alimov, Candidate of Philological Sciences, Professor (Uzbekistan)
Xoliqnazarov Begali, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, (Uzbekistan)
Qodirov Baxtiyor, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Tojiyev Panji, Doctor of Technical Sciences (DSc), Associate Professor (Uzbekistan)
Qosimov Shavkat, PhD, Professor (Uzbekistan)
Saidakhmatov Sharifbek, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Khudoyberdiyev Shuxrat, PhD (Uzbekistan)
Umarov Aziz, PhD (Uzbekistan)
Abduraxmonov Eldor, Doctor of Chemical Sciences, Professor (Uzbekistan)
Shabbazova Dilfuza, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Nuritdinova Khurshida, PhD (Uzbekistan)
Quvvatova Mohira, PhD (Uzbekistan)
Mardonova Lobar, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Nurmatov Norqobil, Doctor of Agricultural Sciences (DSc), Profess. (Uzbekistan)
Ismailov Botir, PhD (Uzbekistan)
Sattorov Sardor, PhD (Uzbekistan)
Allamuradov Anvar, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Kabilova Sayyora, PhD, (Uzbekistan)
Ismailov Murodulla, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Eshmuradov Olmosbek, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Isayev Oybek, PhD (Uzbekistan)
Norliyev Rustam, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor (Uzbekistan)
Berdiyeva Muhabbat, PhD, Professor (Uzbekistan)
Shirnazarova Zamira, PhD, Associate Professor (Uzbekistan)
Narbasheva Mexri, Candidate of Psychological Sciences, Professor (Uzbekistan)
Kuzimurotova Dinara, Editor, Editorial-Publishing Department (Uzbekistan)

SIFATLI TA'LIM – YORQIN KELAJAK
ISSN: 3060-4761
TerDPI ILMIY XABARNOMASI / SCIENTIFIC BULLETIN OF THE TerSPI / НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ТерГПИ
UDK: 541.183:536.658
ORCID 0000-0001-5562-4564
ABDURAXMONOV E.B.
Termiz davlat pedagogika instituti professori.
PARDAYEV O.T.
O'zRFA Termiz davlat pedagogika instituti dotsenti

NaA SEOLITDA UGLEROD (IV) OKSID MOLEKULALARI ADSORBSIYA TERMODINAMIK TASNIFLARI

ANNOTATSIYA: Ushbu maqolada 303 K haroratda NaA seolitida uglerod (IV)-oksid (CO_2) adsorbsiyasining termodinamik va kinetik xususiyatlari tadqiq qilindi. Adsorbsiya izotermalari volumetrik usul yordamida aniqlanib, mikrog'ovaklarning hajmiy to'ldirish nazariyasi (MHTN) asosida modellashtirildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, NaA seolitining maksimal adsorbsion sig'imi taxminan 4,11 mmol/g ni tashkil etdi. Differensial adsorbsiya issiqligi, entropiyasi va muvozanat vaqtining adsorbsiya darajasiga bog'liq ravishda o'zgarishi tahlil qilinib, CO_2 molekulalarining Na^+ kationlari joylashgan faol markazlar bilan bosqichma-bosqich o'zaro ta'siri aniqlandi. Differensial issiqlik profili adsorbsiya jarayonining energetik jihatdan bir necha bosqichlarda kechishini, entropiya o'zgarishlari esa CO_2 molekulalarining seolit mikrog'ovaklarida tartibli joylashishini ko'rsatdi. Olingan natijalar NaA seolitining karbonat angidridni samarali adsorbsiya qiluvchi material sifatidagi istiqbolini hamda gazlarni ajratish va tozalash jarayonlarida qo'llash imkoniyatlarini tasdiqlaydi.

KALIT SO'ZLAR: *NaA seoliti, CO_2 adsorbsiyasi, adsorbsiya izotermasi, differensial issiqlik, entropiya, adsorbsiya kinetikasi, mikrog'ovaklar, termodinamik tahlil.*

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ ОКСИДА УГЛЕРОДА (IV) В ЦЕОЛИТЕ NaA

АННОТАЦИЯ: В данной статье изучены термодинамические и кинетические свойства адсорбции диоксида углерода (CO_2) на цеолите NaA при температуре 303 К. Изотермы адсорбции определены объемным методом и смоделированы на основе теории заполнения объема микропор (ТЗП). По результатам исследования максимальная адсорбционная способность цеолита NaA составила приблизительно 4,11 ммоль/г. Проанализированы изменения дифференциальной теплоты адсорбции, энтропии и времени равновесия в зависимости от степени адсорбции, что выявило поэтапное взаимодействие молекул CO_2 с активными центрами, содержащими катионы Na^+. Дифференциальный температурный профиль показал, что процесс адсорбции протекает в несколько энергетических стадий, а изменения энтропии показали упорядоченное расположение молекул CO_2 в микропорах цеолита. Полученные результаты подтверждают перспективность цеолита NaA в качестве эффективного адсорбента диоксида углерода и его применение в процессах разделения и очистки газов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *цеолит NaA, адсорбция CO_2, изотерма адсорбции, дифференциальная теплота, энтропия, кинетика адсорбции, микропоры, термодинамический анализ*

THERMODYNAMIC CLASSIFICATION OF ADSORPTION OF CARBON (IV) OXIDE MOLECULES IN ZEOLITE NaA

ABSTRACT. This article examines the thermodynamic and kinetic properties of carbon dioxide (CO_2) adsorption on NaA zeolite at 303 K. Adsorption isotherms were determined using a volumetric method and modeled using micropore filling theory (MPFT). The maximum adsorption capacity of NaA zeolite was found to be approximately 4.11 mmol/g. Changes in the differential heat of adsorption, entropy, and equilibrium time were analyzed depending on the degree of adsorption, revealing a stepwise interaction of CO_2 molecules with active sites containing Na^+ cations. The differential temperature profile revealed that the adsorption process occurs in several energetic stages, and entropy changes revealed an ordered arrangement of CO_2 molecules within the zeolite micropores. These results confirm the potential of NaA zeolite as an effective carbon dioxide adsorbent and its application in gas separation and purification processes.

KEYWORDS: NaA zeolite, CO_2 adsorption, adsorption isotherm, differential heat, entropy, adsorption kinetics, micropores, thermodynamic analysis

ISSN: 3060-4761

KIRISH. Dunyoda neftni qayta ishlashda katalizator sifatida keng qo'llanilishi va tabiiy gazni suvsizlantirish uchun mahalliy xomashyolardan seolitlarni sintez qilishga oid tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada seolitlarni sintez vaqtini optimallashtirish va ishlab chiqarish yondashuvlarining tejamkor usullarini o'z ichiga olish; seolit hosil qilish uchun optimal xom ashyo nisbatlarini belgilash; sintezlangan seolitlarda qutbli va qutbsiz molekulalarning adsorbsion xususiyatlarini tekshirish; adsorbent-adsorbat o'zaro ta'sirini boshqarish mexanizmlarini aniqlashtirish va adsorbsion izotermalarga mikrog'ovaklarning hajmiy to'yinish nazariyasi (MHTN) tenglamalarini qo'llash orqali g'ovak hajmi va o'lchamlarini tavsiflash; seolitlarning sorbtsion xususiyatlarini va strukturaviy tuzilishini batafsil tahlil qilishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Mamlakatimizda neft-kimyo sanoatidagi yutuqlar zamonaviy ishlab chiqarish quvvatlarini barpo etish imkonini berib, raqobatbardosh, sifatli mahsulotlarni diversifikatsiya qilish va ko'paytirishga xizmat qilmoqda. Natijada seolitlarni sintez qilish va ularning adsorbsion xususiyatlarini tekshirishda, xususan, tabiiy gazni chuqur tozalashda, neftni qayta ishlash korxonalarida sanoat oqava suvlarini tozalashda qo'llanilishi bo'yicha sezilarli ilmiy va amaliy yutuqlarga erishilmoqda.

Tadqiqot metodikasi: Ushbu tadqiqotda NaA seolitida karbonat angidrid (CO_2) adsorbsiyasining izotermik, termodinamik va kinetik xususiyatlari o'rganildi. Tadqiqot obyekti sifatida sintetik NaA seoliti tanlandi.

Adabiyotlar tahlili: NaA seolitlarida kremniy (Si) va alyuminiy (Al) atomlarining nisbati qat'iy 1:1 bo'lib, bu strukturaning barqaror kristallik va doimiy mikrog'ovak o'lchamlarini ta'minlaydi. 12 ta alyuminiy, 12 ta kremniy, 48 ta kislorod (ularning 12 tasi kislorod ko'priklarini hosil qiladi) va 12 ta natriy (Na^+) kationi mavjud. Natriy kationlari sorbsion markazlar bilan o'zaro ta'sirni ta'minlaydi.

NaA turidagi seolitlarda barcha Na^+ kationlar kristall panjara bo'ylab bir xilda taqsimlanmagan bo'lib, ular ikki asosiy lokalizatsiya holatida joylashadi. Birinchi lokalizatsiya – SI pozitsiyasi – bu yerda 8 ta Na^+ ionlari olti a'zoli kislorod halqalari markazida aniqlangan. SI pozitsiyasidagi kationlar seolit panjarasidagi markaziy bo'shliqlarda joylashib, sorbsion markaz sifatida molekulalarni kuchli elektrostatik ta'sir orqali yutish imkonini beradi. Bu holat NaA seolitining yuqori selektiv sorbsion xususiyatlarini belgilaydi va molekulalar bilan barqaror ion-molekulyar komplekslar hosil bo'ladi [2; 1041 b.; 3; 737–741 b.; 4; 678 b.; 5; 5963 b.; 6; 1074–1085 b.]. Ikkinchi lokalizatsiya – SII pozitsiyasi – kationlar sakkiz a'zoli halqalar atrofida statistik tarzda taqsimlangan. SII pozitsiyasidagi kationlar esa halqasimon teshiklar atrofida statistik tarzda joylashgani sababli molekulalarni panjaraga kirishini tartibga soluvchi dinamik sorbsion markazlarni hosil qiladi. Bu joylashuv sorbsion kinetikasini, molekulalar diffuziyasini va ionlar bilan o'zaro ta'sir intensivligini muvozanatlashtiradi [3; 737–741 b.; 4; 678 b.; 5; 5963 b.].

Adabiyotlarda NaA seolitidagi sakkiz a'zoli halqalar samarali diametri taxminan 0,4 nm (4 Å) ga teng ekani qayd etilgan. Biroq, ushbu qiymat qat'iy konstant sifatida qabul qilinmaydi, chunki halqalarning shakli, geometrik konfiguratsiyasi va ularning ichidagi Na^+ kationlarning fazoviy joylashuvi adsorblanuvchi moddaning tabiati va panjara sharoitlariga qarab farqlanishi mumkin. Shu sababli, sakkiz a'zoli halqalar samarali diametri mos ravishda adsorbatning xususiyatlariga va kristall panjaraning energetik sharoitlariga bog'liq holda o'zgaradi [9; 76–77 b.].

Eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, NaA yoki 4A (LTA tipidagi) seolitlarning 37 K dan 311 K gacha bo'lgan harorat oralig'ida o'lchangan issiqlik sig'imi hech qanday anomaliyani namoyon qilmaydi. Bu kuzatuv seolitlarning mikrog'ovak panjarasidagi struktura birliklarining barqarorligini va yuqori termik chidamliligini tasdiqlaydi. Shuningdek, termodinamik parametrlar – entalpiya (H), entropiya (S) va Gibbs erkin energiyasi (G) – harorat T = 0 K da aniqlangan qiymatlariga nisbatan baholangan. Ushbu baholashlar A-tur seolitlarning yuqori muddatdagi asosiy strukturaviy birliklarining mustahkamligi va kristallik panjaraning termodinamik barqarorligini ko'rsatadi [10; 841–846 b.].

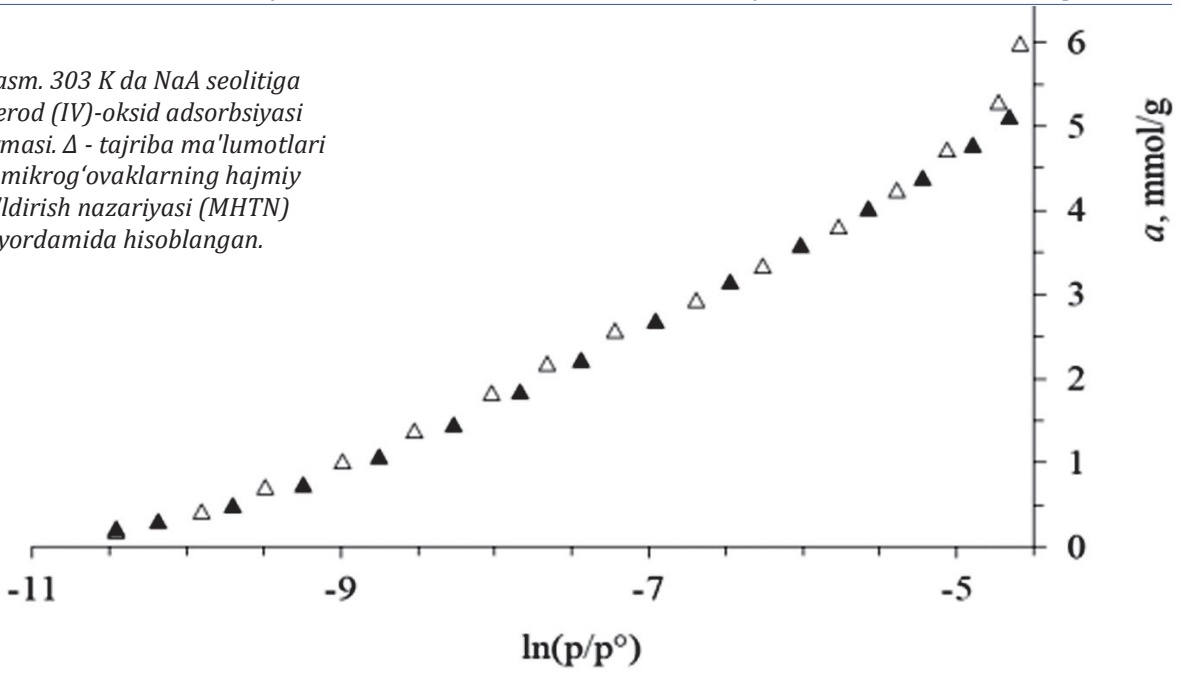
NATIJALAR VA MUHOKAMA. Adsorbsiya izotermasi volumetrik usul orqali aniqlangan bo'lib, bunda izotermalar uchun o'lchov noaniqligi taxminan 1,0%, adsorbsion issiqlik uchun esa 0,1% ni tashkil qiladi. 303 K haroratda NaA seolitlarida karbonat angidrid (CO_2) adsorbsiyasining izotermasi $\ln(p/p_0)$ ko'rinishida ifodalangan, bunda 303 K da CO_2 ning to'yinganlik bosimiga (54,806 torr) mos keladi. 6.1.1-rasmda ushbu izotermaning grafigi keltirilgan bo'lib, unda adsorbsion sig'im miqdor tarzda ko'rsatilgan. Ushbu natijalar NaA seolitining mikrog'ovakli tuzilishi va CO_2 molekulalarining g'ovaklar ichidagi taqsimlanishini baholash uchun muhim ma'lumotlarni beradi, shuningdek, seolitning gaz adsorbsiyasidagi samaradorligi va turli bosim sharoitlaridagi kinetik xususiyatlarini tahlil qilish imkonini beradi.

Dastlabki bosqichda NaA seolitlarida CO_2 adsorbsion izotermasi sekin va barqaror o'sish tendentsiyasini ko'rsatadi. Adsorbsiya miqdori 1 mmol/g dan 4,498 mmol/g gacha bo'lgan diapazonda chiziqli model yordamida samarali tarzda tasvirlanadi. 1 mmol/g gacha bo'lgan dastlabki o'sish CO_2 molekulalarining seolitning mikrog'ovaklariga kirishini aks ettiradi, keyingi chiziqli o'sish esa mikrog'ovaklarning bosqichma-bosqich to'yinganligini ifodalaydi. Ushbu izotermani yanada chuqur tahlil qilish uchun NaA seolitlaridagi CO_2 adsorbsiyasi MHTN tenglamasi yordamida modellashtirish tavsifi berilgan. Bu yondashuv seolitning mikrog'ovak tuzilishi va CO_2 molekulalarining adsorbsion xatti-harakatini tushunishga imkon beradi.

$a = 4{,}91 \exp[(A/19{,}83)4] + 2{,}98 \exp[(A/11{,}29)4]$,

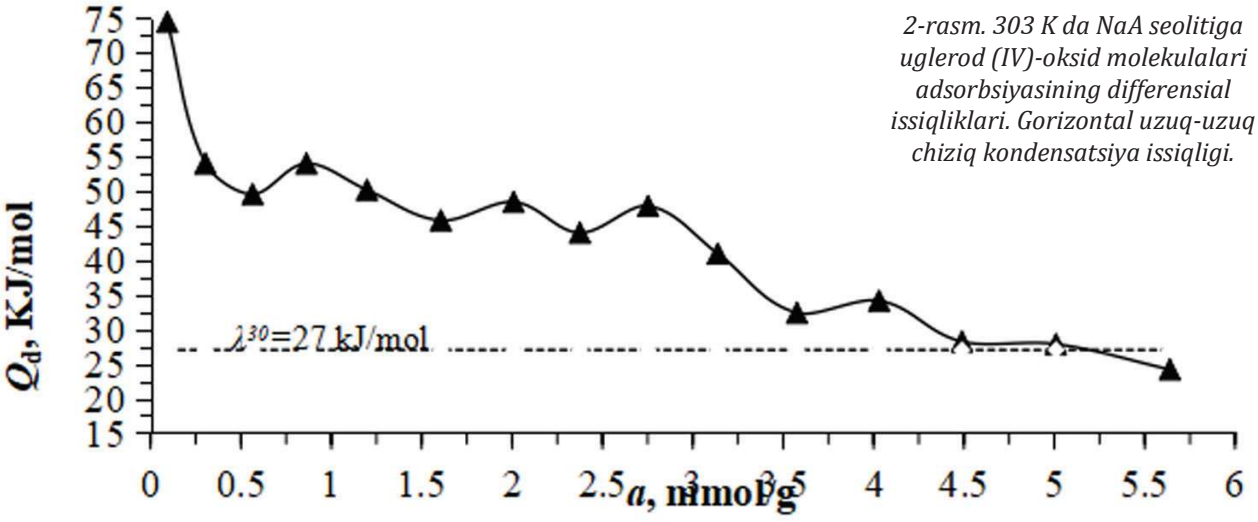
a – mikrog'ovaklarda adsorbsiya (mmol/g), $A = RT\ln(P°/P)$ – erkin energiya ishi (kJ/mol).

ISSN: 3060-4761
TerDPI ILMIY XABARNOMASI / SCIENTIFIC BULLETIN OF THE TerSPI / НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ТерГПИ



1-rasm. 303 K da NaA seolitiga uglerod (IV)-oksid adsorbsiyasi izotermasi. Δ - tajriba ma'lumotlari ▲ – mikrog'ovaklarning hajmiy to'ldirish nazariyasi (MHTN) yordamida hisoblangan.

303 K haroratda NaA seolitlarida karbonat angidridning (CO_2) adsorbsiyasi bilan bog'liq differensial issiqlik (Qd) tasvirlangan. Bu haroratda, mos yozuvlar chizig'i karbonat angidridning kondensatsiya issiqligiga (ΔHv = 27 kJ/mol) mos keladi. NaA seolitlarida adsorbsiya boshlanganda, ya'ni adsorbsiya miqdori 0,4 mmol/g bo'lganda, differensial adsorbsion issiqlik taxminan 65,37 kJ/mol darajasida aniqlanadi. Adsorbsiya miqdori 1,051 mmol/g ga yetganda, bu qiymat asta-sekin pasayib, 42,58 kJ/mol gacha kamayadi. Ushbu pasayish seolitning mikrog'ovak tuzilishidagi CO_2 molekulalarining bosqichma-bosqich joylashishi va adsorbent yuzasi bilan o'zaro ta'sirini aks ettiradi. Dastlabki yuqori Qd qiymati molekulalarning faol adsorbsion markazlarga kuchli bog'lanishini ko'rsatadi, keyingi pasayish esa mavjud bo'shliqlarning asta-sekin to'yinganligini va adsorbsion energiyaning dispersiyasini ifodalaydi.

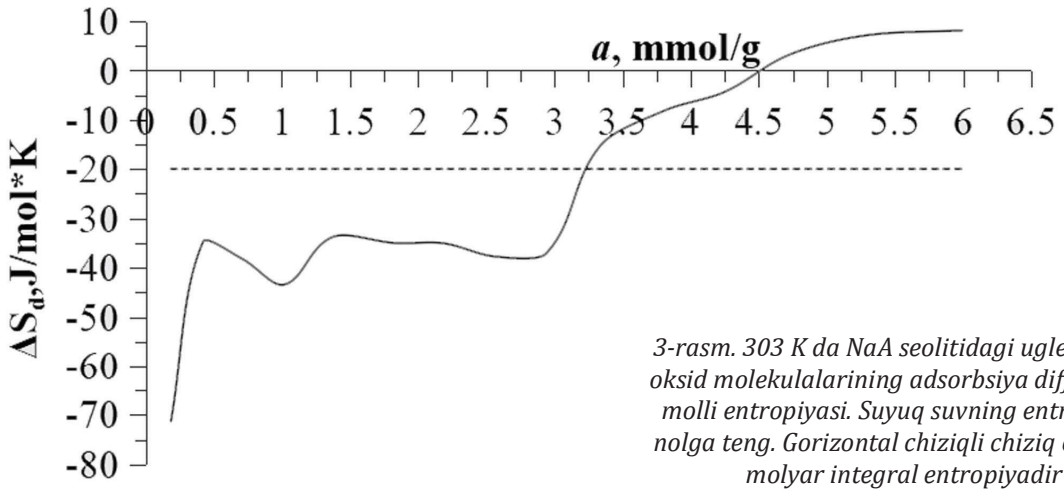


2-rasm. 303 K da NaA seolitiga uglerod (IV)-oksid molekulalari adsorbsiyasining differensial issiqliklari. Gorizontal uzuq-uzuq chiziq kondensatsiya issiqligi.

NaA seolitida CO_2 adsorbsiyasi davomida differensial issiqlik (Qd) adsorbsion sig'imga nisbatan sezilarli o'zgarishlar ko'rsatadi. Dastlabki bosqichlarda Qd 57,4 kJ/mol dan 37 kJ/mol gacha pasayadi, bu esa adsorbsion miqdori 2,789 mmol/g ga yetganda kuzatiladi. Adsorbsiya darajasida Qd 42,58–48,55 kJ/mol oralig'ida o'zgarib turadi. 0,406 mmol/g dan 2,0824 mmol/g gacha bo'lgan adsorbsion intervalda differensial issiqlik 42,58–28,44 kJ/mol diapazonida tebranuvchi, to'lqinga o'xshash naqshni namoyon qiladi. Bu tebranishlar seolit

mikrog'ovaklaridagi CO_2 molekulalarining ketma-ket joylashishi va adsorbent yuzasi bilan o'zaro ta'sirini aks ettiradi. Adsorbsiya jarayoni yakunlanishiga yaqinlashganda, 4,048 mmol/g da kondensatsiya issiqligiga yaqinlashadi, bu esa suyuq fazaga o'tish bilan bog'liq energetik barqarorlikni ko'rsatadi. Oxir-oqibat, NaA seoliti taxminan 4,11 mmol/g CO_2 molekulalarini adsorbsiya qiladi. Ushbu adsorbsiya seolitning Na^+ kationlari joylashgan faol bo'shliqlarida, har bir bo'shliqning stexiometrik sig'imi bilan mos keladigan tarzda sodir bo'ladi.

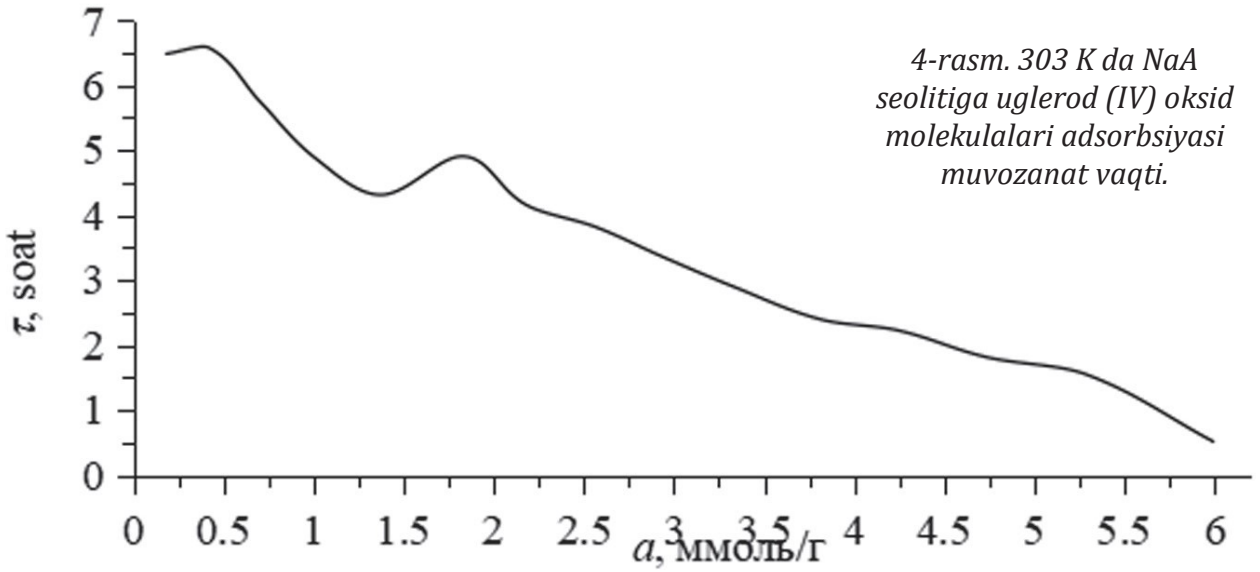
CO_2 adsorbsiyasini miqdoriy tavsiflash maqsadida, kalorimetrik o'lchovlardan olingan differensial issiqlik (Qd) profili beshta aniq adsorbsion intervalga ajratildi. Bu intervallar mos ravishda 0,19–1,19 mmol/g, 0,71–1,308 mmol/g, 1,09–1,308 mmol/g, 1,09–1,3055 mmol/g va 2,503–3,1 mmol/g oralig'ini tashkil qiladi. Har bir interval, taxminan, bitta CO_2 molekulasining seolit mikrog'ovaklari ichida sodir bo'ladigan individual adsorbsion hodisaga to'g'ri keladi. Ushbu bo'linish Qd ning adsorbsion energetikaning bosqichma-bosqich o'zgarishini aniqlash imkonini beradi va seolitning mikrog'ovak tuzilishi bilan bog'liq bo'lgan adsorbsion kinetik xususiyatlarni tahlil qilishga asos yaratadi. Shuningdek, har bir intervaldagi differensial issiqlikning o'ziga xos qiymatlari, CO_2 molekulalarining Na^+ kation joylari bilan interaksiyasi va seolit panjarasidagi har bir faol bo'shliqning stexiometrik sig'imi bilan bog'liqligini ko'rsatadi.



3-rasm. 303 K da NaA seolitidagi uglerod (IV) oksid molekulalarining adsorbsiya differensial molli entropiyasi. Suyuq suvning entropiyasi nolga teng. Gorizontal chiziqli chiziq o'rtacha molyar integral entropiyadir

3-rasmda 303 K haroratda NaA seolitida CO_2 adsorbsiyasiga bog'liq differensial entropiya (ΔSd) ko'rsatilgan. Adsorbsiyaning dastlabki bosqichida entropiya profili suyuq fazaga xos xususiyatlarni aks ettiradi. Xususan, adsorbsiyaning boshlang'ich va oraliq fazalari suyuqlikdagi molekulalarning termodinamik harakati bilan o'xshash hatti-harakatni namoyon qiladi, bu esa CO_2 molekulalarining seolit mikrog'ovaklariga kirishi va faol kationik markazlar bilan o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladi. Shu tarzda, ΔSd adsorbsion jarayonning mikroskopik mexanizmlarini, jumladan, molekulalarning seolit panjarasiga joylashishini aniqlashda muhim rol o'ynaydi.

NaA seolitida CO_2 adsorbsiyasining differensial issiqligi va entropiyasi egri profillar orqali tasvirlangan bo'lib, dastlabki bosqichda ularning tez o'sishi 18,95 J/mol·K darajasiga yetadi. Ikkinchi bosqichda esa bu parametrlar cho'qqi va minimal qiymatlar orasida tebranishlarni namoyon qiladi, bu esa uchinchi bosqichda asta-sekin pasayish bilan davom etadi. Adsorbsiya jarayoni yakuniga yaqinlashganda, differensial entropiya taxminan −22 J/mol*K gacha sezilarli darajada kamayadi, bu esa seolit va CO_2 molekulalari o'rtasidagi kuchli adsorbsion o'zaro ta'sirlarni ko'rsatadi. Yakuniy bosqich aniq lokalizatsiyani aks ettirib, besh Na^+ kationi bilan muvofiqlashtirilgan to'rt CO_2 molekulasini o'z ichiga olgan to'rt o'lchovli klasterning hosil bo'lishi bilan bog'liq bo'ladi. Shu tarzda, ΔSd profili adsorbsiya jarayonining mikroskopik mexanizmlarini va molekulalarning seolit panjarasidagi joylashishini aniqlashda muhim ma'lumot beradi.



4-rasm. 303 K da NaA seolitiga uglerod (IV) oksid molekulalari adsorbsiyasi muvozanat vaqti.

NaA seolitlarida o'rtacha integral entropiya 5,82 J/mol·K sifatida aniqlangan bo'lib, bu adsorbsiyalangan CO_2 molekulalarining seolit ichidagi suyuq fazadagi harakatchanligidan ancha yuqori kinetik faollikni ko'rsatadi. 4rasmda tasvirlanganidek, NaA seolitidagi CO_2 adsorbsiyasining kinetikasi dastlab uzoq muvozanat vaqtlarini namoyish qiladi. Adsorbsiya quvvati 0,71 mmol/g gacha yetganda, muvozanat taxminan 9 soat ichida hosil bo'ladi, bu esa 5,38 soatlik o'rtacha muvozanat vaqtiga mos keladi. Bu uzoq davom etish CO_2 molekulalarining seolitning g'ovakli tuzilmasi ichida sekin tarqalishi bilan izohlanadi. Keyinchalik, muvozanat vaqti asta-sekin oshib, so'ngra 4,76 soatgacha kamayadi, bu esa adsorbsion miqdor 0,29 dan 4,10 mmol/g gacha o'zgarishi bilan bog'liq to'lqinga o'xshash naqshni hosil qiladi. Yakuniy bosqichda muvozanat vaqti sezilarli darajada qisqaradi, u bir soatdan bir necha daqiqagacha qisqa muddatga tushadi, bu esa adsorbsiyaning oxirgi fazasida CO_2 molekulalarining tezkor lokalizatsiyasini aks ettiradi.

XULOSA: Aksincha, NaX seoliti atigi 4,39 mmol/g CO_2 gazini adsorbsiyalaydi. NaX seolitidagi CO_2 ning adsorbsion entropiyasi (ham gazsimon, ham suyuq faza xarakteristikalarini aks ettiruvchi) tekshirilib, dastlab yuqori muvozanat vaqtlari naqshini aniqladi va keyinchalik pasayadi. NaA seolitidagi CO_2 adsorbsion izotermlari ikki nuqtali mikrog'ovak to'yinganlik nazariyasi yordamida modellashtirilgan. NaA seolitida CO_2 adsorbsiyasi bo'yicha termodinamik tadqiqotlar adsorbsiya mexanizmlari va bog'liq parametrlarni, jumladan, differentsial issiqlik, izoterm profillari, holat entropiyasi, Gibbsning erkin energiyasi va muvozanat vaqtlarini yoritadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1.T.R. Brueva, I.V. Mishin, G.I. Kapustin, Thermochim. Acta 379 (1–2) (2001) P.15.

2. F. Docquir, H. Toufar, B.-L. Su, Langmuir 17 (20) (2001) P.6282.

3. У.К.Ахмедов, Ф.Г.Рахматкариева, М.Х.Каххоров, Э.Б.Абдурахмонов. СаА цеолитига карбонат ангидрид адсорбция энергетикаси // Композицион материаллар Илмий-техникавий ва амалий журнал. 2019, №2, С. 97-99

4. Yu, M.; Hunter, J. T.; Falconer, J. L.; Noble, R. D. Adsorption of Benzene Mixtures on Silicalite-1 and NaX//Seolites. Microporous Mesoporous Mater. 2006, 96, P.376-385.

5. Huimin Zheng, Liang Zhao, Jingjing Ji, Jinsen Gao, Chunming Xu ва Francis Luck //ACS Appl. Mater. Interfaces 2015, 7, P.10190-10200

6. Zeng, Y.; Ju, S.; Xing, W.; Chen, C. Computer Simulation of Benzene Adsorbed in All-silica Y and NaY Seolites. Ind. Eng. Chem. Res. 2007, 46, P.242-248.

7.Takahashi, A.; Yang, F. H.; Yang, R. T. New Sorbents for Desulfurization by π-Complexation: Thiophene/Benzene Adsorption. Ind. Eng. Chem. Res. 2002, 41, P.2487-2496.

8.S. Nair, R. M. Dimeo, D. A. Neumann, A. J. Horsewill and M. Tsapatsis, J. Chem. Phys., 2004, 121, P.4810.

9. N. Hansen, R. Krishna, J. M. van Baten, A. T. Bell and F. J. Keil, J. Phys. Chem. C, 2009, 113, P.235.

10. K. Ulrich, D. Freude, P. Galvosas, C. Krause, J. Karger, J. Caro, P. Poladli and H. Papp, Microporous Mesoporous Mater., 2009, 120, P.98.

11. O. C. Gobin, S. J. Reitmeier, A. Jentys and J. A. Lercher, Microporous Mesoporous Mater., 2009, 125,P.3.

12. S. R. Varanasi, P. Kumar, V. R. Puranik, A. Umarji and S. Yashonath, Microporous Mesoporous Mater., 2009, 125, P.135.

13. M. Shamsuzzoha, Y. H. Kim and W. T. Lim, J. Phys. Chem. C, 2011, 115, P.17750