ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SEOLIT ASOSIDAGI ADSORBENTLARNING GAZ TOZALASH JARAYONIDA QO‘LLANILISHI

Mutalipova Diloromxon Baxtiyorjon qizi
Buxoro davlat universiteti, Kimyo va neft-gaz texnologiyalari kafedrasi o‘qituvchisi, Buxoro shahri, O‘zbekiston
E-mail: diloromxonbaxtiyorovna@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada qurilish-ohak va g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavodlarning yonish kameralaridan chiqayotgan tutun gazlari tarkibidagi oltingugurt dioksidi (SO_2) ni mahalliy xom-ashyo Navbahor klinoptilolit konidan olingan tabiiy seolit asosida tayyorlangan adsorbent yordamida tozalash bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Seolitning kationli almashinish ($Na^+ \rightarrow NH_4^+$), termik faollashtirish (350–550 °C) va kimyoviy modifikatsiyalash (CuO impregnatsiyasi) usullari orqali adsorbsiya sig‘imi solishtirib o‘rganildi. Modifikatsiyalangan namuna uchun SO_2 ga nisbatan dinamik adsorbsiya sig‘imi 38,7 mg/g ni tashkil etib, modifikatsiyalanmagan namunaga nisbatan 2,3 baravarga ortdi. Adsorbsiya kinetikasi Langmuir tenglamasiga (R^2 = 0,987) yaxshi mos kelishi aniqlandi. Olingan natijalar tabiiy seolit asosidagi adsorbentlarni mahalliy sharoitda chiqindi gazlarni tozalashda samarali qo‘llash imkonini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: tabiiy seolit, klinoptilolit, adsorbsiya, oltingugurt dioksidi, chiqindi gaz, modifikatsiyalash, Langmyur izotermasi, atrof-muhit muhofazasi.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по очистке дымовых газов, образующихся в камерах сгорания мини-заводов по производству строительной извести и кирпича, от диоксида серы (SO_2) с использованием адсорбента, приготовленного на основе природного цеолита, полученного из Навбахорского месторождения клиноптилолита. Сравнительно изучена адсорбционная способность цеолита после катионного обмена ($Na^+ \rightarrow NH_4^+$), термической активации (350–550 °C) и химической модификации (импрегнирование CuO). Для модифицированного образца динамическая адсорбционная ёмкость по отношению к SO_2 составила 38,7 мг/г, что в 2,3 раза выше по сравнению с немодифицированным образцом. Установлено, что кинетика адсорбции хорошо описывается уравнением Ленгмюра (R^2 = 0,987). Полученные результаты свидетельствуют о возможности эффективного применения адсорбентов на основе природных цеолитов для очистки отходящих газов в местных условиях.

Ключевые слова: природный цеолит, клиноптилолит, адсорбция, диоксид серы, отходящие газы, модификация, изотерма Ленгмюра, охрана окружающей среды.

Abstract. This article presents the results of studies on the removal of sulfur dioxide (SO_2) from flue gases emitted from the combustion chambers of mini-plants producing construction lime and bricks using an adsorbent prepared on the basis of natural zeolite obtained from the Navbahor clinoptilolite deposit. The adsorption capacities of the zeolite samples modified through cation exchange ($Na^+ \rightarrow NH_4^+$), thermal activation (350–550 °C), and chemical modification (CuO impregnation) were comparatively investigated. The dynamic adsorption capacity of the modified sample toward SO_2 reached 38.7 mg/g, which was 2.3 times higher than that of the unmodified sample. It was determined that the adsorption kinetics fit the Langmuir model well (R^2 = 0.987). The obtained results demonstrate the possibility of effective application of natural zeolite-based adsorbents for the purification of waste gases under local conditions.

Keywords: natural zeolite, clinoptilolite, adsorption, sulfur dioxide, waste gas, modification, Langmuir isotherm, environmental protection.

KIRISH.

Sanoatning rivojlanishi va shahar infratuzilmasining kengayishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan zararli gaz aralashmalari hajmi yildan-yilga ortib bormoqda. O‘zbekiston Respublikasining ko‘plab viloyatlarida faoliyat yuritayotgan g‘isht zavodlari, ohak kuydirish minipechlari va qurilish materiallari ishlab chiqaruvchi kichik korxonalar yonilg‘i sifatida ko‘mir, mazut va mahalliy yoqilg‘ilardan foydalanmoqda. Ularning to‘liq yonmasligi natijasida hosil bo‘ladigan tutun gazlari tarkibida oltingugurt dioksidi (SO_2), azot oksidlari (NO_x), uglerod (II)-oksidi (CO) va qattiq zarrachalar mavjud bo‘lib, ular nafas yo‘llari kasalliklari, kislotali yog‘inlar va biosfera muvozanatining buzilishiga sabab bo‘ladi.

Jahon Sog‘liqni saqlash tashkilotining 2024-yilgi ma'lumotlariga ko‘ra, atmosfera havosining ifloslanishi har yili 7 milliondan ortiq odamning erta vafotiga olib kelmoqda. SO_2 ning bir kunlik ruxsat etilgan o‘rtacha konsentratsiyasi 40 mkg/m³ deb belgilangan bo‘lsa-da, ko‘plab sanoat hududlarida bu ko‘rsatkich 5–10 baravar oshib ketadi. Shu bois mahalliy xom-ashyolar asosida iqtisodiy jihatdan maqbul va ekologik samarali adsorbent ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Gaz aralashmalarini tozalashda absorbsiya, kataliz, membranali ajratish va adsorbsiya usullari qo‘llaniladi. Ular orasida adsorbsion usul oddiy texnologik sxemasi, past energiya sarfi va adsorbentni qayta tiklash imkoniyati bilan ajralib turadi. Adsorbent sifatida faollashtirilgan ko‘mir, silikagel, alyumogel, sintetik va tabiiy seolitlar ishlatiladi. Tabiiy seolitlar, xususan klinoptilolit, kanal-g‘ovak tuzilishi, yuqori kationli almashinish sig‘imi (CEC = 1,8–2,2 meq/g) va termik barqarorligi (650 °C gacha) tufayli ekologik adsorbent sifatida ahamiyatlidir.

ISSN 3030-3907

O‘zbekistonda seolitning katta zaxiralari mavjud bo‘lib, Navbahor, Tebinbuloq va Ohangaron konlari sanoat ahamiyatiga ega. Navbahor koni klinoptiloliti tarkibida asosiy mineral fazaning ulushi 72–78 % ni tashkil etadi, bu uni adsorbsion qo‘llash uchun mos qiladi. Biroq xom holatdagi tabiiy seolitning adsorbsion ko‘rsatkichlari sanoat talablariga to‘liq javob bermaydi, shu sababli uni mexanik, termik va kimyoviy usullar bilan faollashtirish zarur bo‘ladi.

Tadqiqotning maqsadi Navbahor koni tabiiy klinoptiloliti asosida modifikatsiyalangan adsorbent tayyorlash hamda uni Buxoro viloyati Vobkent tumanidagi g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavod tutun gazlari tarkibidagi SO_2 ni tutib qolish samaradorligini eksperimental baholashdan iborat.

MATERIALLAR VA TADQIQOT METODIKASI.

Tadqiqot obyekti. Tadqiqot obyekti sifatida Buxoro viloyati Vobkent tumanidagi xususiy g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavodning halqa shaklidagi pechlaridan chiqayotgan tutun gazlari olindi. Pechda yoqilg‘i sifatida o‘rtacha 1,8–2,4 % oltingugurt saqlovchi mahalliy ko‘mir va mazut aralashmasi qo‘llaniladi. Pech tutun trubasidan 150–180 °C haroratda chiqayotgan gazning kimyoviy tarkibi gaz analizatori “Testo 350” yordamida o‘rganildi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Vobkent minizavodi tutun gazlarining kimyoviy tarkibi

№	Komponent	Konsentratsiya, mg/m³	REK, mg/m³	REKdan ortishi, marta
1	Oltingugurt dioksidi (SO_2)	2840 ± 95	500	5,68
2	Azot oksidlari (NO_x)	420 ± 28	200	2,10
3	Uglerod (II)-oksidi (CO)	1250 ± 60	3000	0,42
4	Uglerod (IV)-oksidi (CO_2)	12,4 %	—	—
5	Qattiq zarrachalar (PM)	385 ± 22	150	2,57
6	Suv bug‘i (H_2O)	6,8 %	—	—

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, eng yuqori ortishni SO_2 ko‘rsatmoqda bu ko‘rsatkich ruxsat etilgan konsentratsiyadan 5,68 marta yuqori. Shuning uchun aynan SO_2 ni yutib olishga moslashtirilgan adsorbent ishlab chiqarish ustuvor yo‘nalish sifatida tanlandi.

Xom-ashyo va reagentlar. Tabiiy seolit Navbahor konining klinoptilolitidan olindi. Namunaning kimyoviy tarkibi rentgen-flyuoressent spektrometri “Bruker S2 Ranger” yordamida aniqlandi (2-jadval).

ISSN 3030-3907

Modifikatsiyalashda ammoniy xlorid (NH_4Cl) va mis sulfat pentagidrati ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ishlatildi. Distillangan suv (elektr o‘tkazuvchanligi 1,5 mkS/sm dan past) tayyorlash uchun foydalanildi.

2-jadval

Navbahor klinoptilolitining kimyoviy tarkibi (massa ulushi, %)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	YK*
66,42	12,38	1,76	3,84	1,02	2,15	1,28	11,15

Eslatma: YK* yo‘qotish ko‘rsatkichi (kuydirishda, 1000 °C, %).

Tarkibdagi SiO_2/Al_2O_3 molyar nisbati 9,12 ga teng bo‘lib, bu klinoptilolitning yuqori kremniyli turi ekanligini tasdiqlaydi va bu seolitning kislota va termik barqarorligini, hamda gidrofob xossalarini oshiradi, bu esa SO_2 ni nam tutun gazidan ajratib olish uchun foydalidir.

Adsorbentni tayyorlash usuli. Tabiiy seolit avval mexanik usulda yanchildi va 0,5–1,0 mm o‘lchamli qavati ajratib olindi. So‘ngra namunalar uch xil usulda qayta ishlandi: (1) Z-T termik faollashtirish (450 °C, 4 soat); (2) Z-NH ammoniyli kationli almashinish (1 M NH_4Cl eritmasida 80 °C da 6 soat); (3) Z-CuT birgalashtirilgan usul (NH_4^+ shaklini Cu^{2+} bilan almashtirish va termik faollashtirish 550 °C da). Kationli almashinish reaksiyasi quyidagi tenglama asosida boradi:

$$Z\text{-}Na^+ + NH_4Cl \rightarrow Z\text{-}NH_4^+ + NaCl \quad (1)$$

Termik faollashtirishda $Z–NH_4^+$ shakli H^+-shaklga o‘tadi va seolit g‘ovaklarida proton kislotali markazlar hosil bo‘ladi:

$$Z\text{-}NH_4^+ \rightarrow Z\text{-}H^+ + NH_3\uparrow \quad (2)$$

Z-CuT namunasini olishda Z-NH_4 shakli 0,2 M $CuSO_4$ eritmasi bilan ishlov berildi, so‘ngra 550 °C da kuydirilganda CuO faza hosil bo‘ldi:

$$Z\text{-}NH_4^+ + CuSO_4 \rightarrow Z\text{-}Cu^{2+} + (NH_4)_2SO_4 \quad (3)$$

Adsorbsiya tajribasi. Tajribalar laboratoriya sharoitida diametri 22 mm, balandligi 350 mm bo‘lgan shisha kolonkada o‘tkazildi. Kolonkaga 15,0 g adsorbent yuklandi. SO_2 ning 2840 mg/m³ konsentratsiyali nam azot-havo aralashmasi 25 °C da 0,5 l/min tezlikda o‘tkazildi. Kolonka chiqishidagi SO_2 konsentratsiyasi har 5 daqiqada elektrokimyoviy sensor (Testo 350) bilan o‘lchanib turildi. Adsorbsiya sig‘imi qachonki, $C/C_0 = 0,05$ ga yetganda “toza tozalash” bosqichi tugaganligi sifatida qabul qilindi va dinamik adsorbsiya sig‘imi quyidagi tenglama bilan hisoblandi:

$$q = (Q \cdot C_0 \cdot t_b) / m, \quad (4)$$

bu yerda q — adsorbsiya sig‘imi (mg/g); Q — gaz oqimi tezligi (l/min); C_0 — kirishdagi konsentratsiya (mg/l); t_b — to‘yinish vaqti (min); m — adsorbent massasi (g).

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI.

ISSN 3030-3907

Adsorbentlarning fizik-kimyoviy xossalari. Tayyorlangan namunalarning solishtirma yuzasi BET usulida (azot adsorbsiyasi, 77 K) aniqlandi. Tarkib va adsorbsiya tafsilotlari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Modifikatsiyalangan seolit namunalarining ko‘rsatkichlari

Namuna	S(BET), m^2/g	G‘ovak hajmi, sm^3/g	O‘rt. g‘ovak diam., nm	SO_2 ga sig‘im, mg/g
Z-xom (tabiiy)	28,4	0,082	4,2	16,8
Z-T (termik)	41,7	0,118	3,8	23,4
Z-NH (NH_4^+)	52,8	0,142	3,5	30,2
Z-CuT (modif.)	63,5	0,168	3,1	38,7

3-jadval natijalaridan ko‘rinadiki, kationli almashinish va keyingi termik faollashtirish bilan seolitning solishtirma yuzasi 28,4 m^2/g dan 63,5 m^2/g gacha, ya’ni 2,24 baravarga oshgan. Bu o‘zgarish g‘ovak tuzilishidagi blokirovkalovchi kation va aralashmalarning olib tashlanishi, hamda CuO katakchalarining ichki sirtga taqsimlanishi bilan izohlanadi. Eng yuqori SO_2 adsorbsiyasi (38,7 mg/g) Z-CuT namunasida kuzatildi.

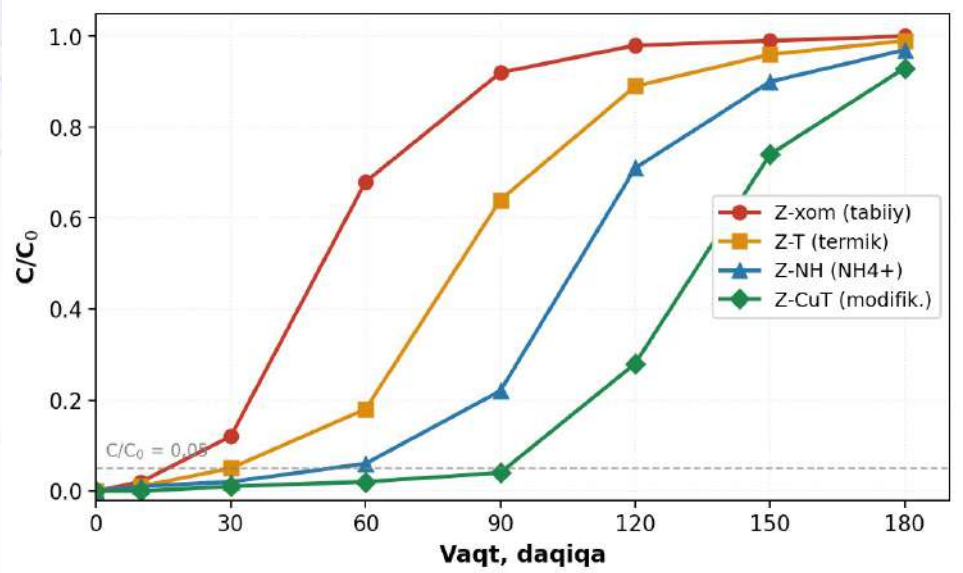
Tadqiqotda olingan SO_2 ning sindirilish egri chiziqlari namunadan namunaga sezilarli farq qilishi aniqlandi. Z-xom namunasi uchun sindirilish vaqti 38 daqiqani, Z-T uchun 56 daqiqani, Z-NH uchun 74 daqiqani va Z-CuT uchun 102 daqiqani tashkil etdi (4-jadval).

4-jadval

Adsorbentlarning sindirilish egri chiziqlari natijalari (C/C_0)

Vaqt, min	Z-xom	Z-T	Z-NH	Z-CuT
10	0,02	0,01	0,01	0,00
30	0,12	0,05	0,02	0,01
60	0,68	0,18	0,06	0,02
90	0,92	0,64	0,22	0,04
120	0,98	0,89	0,71	0,28
150	0,99	0,96	0,90	0,74
180	1,00	0,99	0,97	0,93

ISSN 3030-3907



1-rasm. SO_2 ning turli adsorbentlardagi sindirilish egri chiziqlari

1-rasmda keltirilgan grafikdan ko‘rinadiki, Z-CuT namunasi $C/C_0 = 0,05$ chegarasiga 102 daqiqada yetganda, modifikatsiyalanmagan Z-xom esa atigi 38 daqiqada to‘yindi. Bu modifikatsiyalashning sezilarli samarasini ko‘rsatadi. Z-T va Z-NH namunalari oraliq ko‘rsatkichlarni namoyish qildi va ular adsorbsiya samaradorligi bo‘yicha quyidagi ketma-ketlikni hosil qildi: Z-CuT > Z-NH > Z-T > Z-xom. Egri chiziqlarning S-shaklli bo‘lishi adsorbsiyaning aralash mexanizmda ham tashqi yuza, ham g‘ovak ichkarisidagi diffuzion bosqichlar bilan kechishini bildiradi.

Adsorbsiya mexanizmi. Z-CuT namunasida SO_2 ning yuqori darajada tutilishi mexanizmi kompleks xarakterga ega. Birinchidan, kislotali markazlarda fizik adsorbsiya kechadi. Ikkinchidan, CuO faza SO_2 ni xemosorbsiyalab, mis sulfit/sulfat hosil qiladi:

$$CuO + SO_2 \rightarrow CuSO_3 \quad (5)$$

Tutun gazi tarkibida kislorod mavjudligi sababli, parallel ravishda kechadigan oksidlanish reaksiyasi qo‘shimcha tutib qolish mexanizmini yaratadi:

$$2CuO + 2SO_2 + O_2 \rightarrow 2CuSO_4 \quad (6)$$

Uchinchidan, seolitning g‘ovaklaridagi qoldiq suv molekulalari ishtirokida SO_2 qisman gidrolizlanib, oraliq mahsulot gidrosulfit ioni hosil bo‘ladi:

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \rightarrow H^+ + HSO_3^- \quad (7)$$

Adsorbsiya kinetikasi va izotermalari. Z-CuT namunasi uchun olingan tajriba ma‘lumotlari Langmyur va Frendlich izoterma tenglamalariga moslashtirildi. Tahlil natijalari 5-jadvalda berilgan.

5-jadval

Z-CuT uchun adsorbsiya izoterma modellari parametrlari

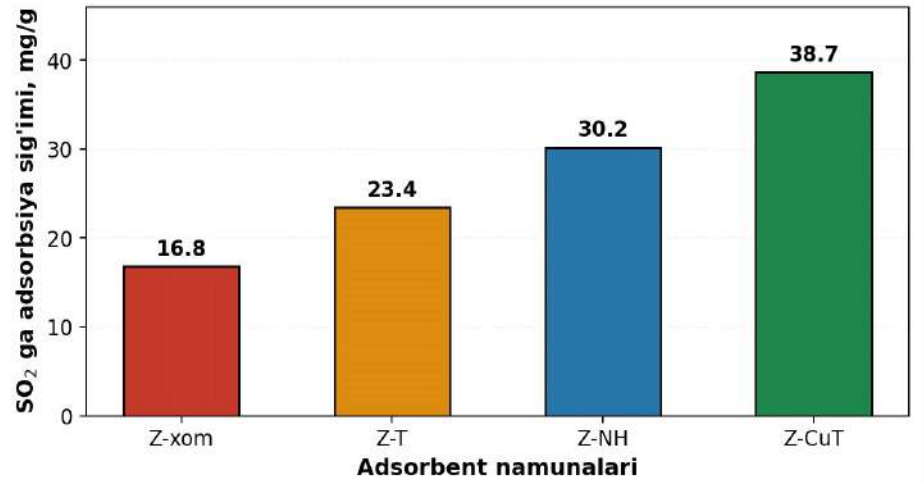
Model	Parametr 1	Parametr 2	R^2

ISSN 3030-3907

Langmyur	q_m = 42,1 mg/g	K_L = 0,164 l/mg	0,987
Frendlich	K_F = 9,76	1/n = 0,38	0,924
Psevdo-2-tartibli kinetika	k_2 = 0,0042 g/mg·min	q_e = 39,8 mg/g	0,994

Langmyur izotermasining R^2 = 0,987 ko‘rsatkichi tajriba ma’lumotlariga juda yuqori darajada mos kelishini, Frendlich modeliga nisbatan (R^2 = 0,924) ustunligini bildiradi. Bu adsorbsiyaning aksariyat qismi adsorbent yuzasidagi bir tekis taqsimlangan markazlarda monoqavat sifatida kechishini tasdiqlaydi.

Psevdo-ikkinchi tartibli kinetik tenglamaning yuqori korrelyatsiyasi (R^2 = 0,994) jarayonni cheklovchi bosqich xemosorbsiya ekanligini, ya’ni reaksiya tezligi adsorbent va adsorbatdagi reaktiv markazlar sonidan ikkinchi tartibli funksiya ekanligini ko‘rsatadi. Bu xulosa SO_2 ning CuO yuzasida kimyoviy bog‘ hosil qilishi to‘g‘risidagi farazni mustahkamlaydi.



2-rasm. Turli usullar bilan tayyorlangan adsorbentlarning SO_2 ga adsorbsiya sig‘imlari

2-rasmdagi gistogrammadan ko‘rinib turibdiki, har bir modifikatsiyalash bosqichi adsorbsiya sig‘imining keskin oshishiga olib keldi. Bu uchta usulning kombinatsiyasi yagona texnologik sxemada amalga oshirilishi kerakligini ko‘rsatadi, chunki ularning har biri turli mexanizmlarni faollashtiradi: termik faollashtirish g‘ovaklarni tozalaydi, kationli almashinish kislotali markazlar sonini ko‘paytiradi, CuO esa xemosorbsion markazlar yaratadi.

Regeneratsiya tajribasi. Adsorbentning amaliy ahamiyatini baholashda uning ko‘p martalik foydalanish imkoniyati muhim. Tajribada Z-CuT namunasi 0,1 M NaOH eritmasi bilan yuvilgandan so‘ng 250 °C da quritilgan va besh marta qayta ishlatilgan. Har bir tsikldagi sig‘im o‘zgarishi quyidagicha:

1-sikl: 38,7 → 2-sikl: 36,2 → 3-sikl: 34,8 → 4-sikl: 33,1 → 5-sikl: 31,4 mg/g

Besh sikldan keyin sig‘imning saqlanishi 81,1 % ni tashkil etdi, bu tabiiy seolit asosidagi adsorbentlar uchun yaxshi natija hisoblanadi. Sig‘imning ozgina

ISSN 3030-3907

pasayishi adsorbent g‘ovaklarida hosil bo‘lgan mis sulfat fazasining qisman bloklanishi va yuqori haroratlarda kationli markazlarning qisman degidroksilatsiyasi bilan izohlanadi.

XULOSA.

Tadqiqot natijalari quyidagicha umumlashtirildi. Buxoro viloyati Vobkent tumanida joylashgan g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavod chiqindi gazlari tarkibida oltingugurt dioksidi (SO_2) konsentratsiyasi ruxsat etilgan eng yuqori konsentratsiyadan (REK) 5,68 marta ortiq bo‘lgani aniqlandi. Bu komponent atmosfera havosining ifloslanishiga eng katta hissa qo‘shuvchi omil sifatida baholandi. Shu sababli mintaqada arzon va samarali tozalash usulini ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

Navbahor konining tabiiy klinoptiloliti asosida tayyorlangan modifikatsiyalangan adsorbent (Z-CuT) SO_2 ga nisbatan 38,7 mg/g dinamik adsorbsiya sig‘imini namoyon etdi. Bu ko‘rsatkich modifikatsiyalanmagan xom seolitnikidan 2,3 baravar yuqori bo‘lib, qo‘llanilgan modifikatsiya usulining samaradorligini ko‘rsatadi. Adsorbsiya jarayonining mexanizmini aniqlash maqsadida o‘tkazilgan tahlillar natijasida jarayon Langmyur izotermasiga (R^2 = 0,987) hamda psevdo-ikkinchi tartibli kinetik modelga (R^2 = 0,994) yuqori darajada mos kelishi aniqlandi. Bu esa jarayonni xemosorbsiya tabiatiga ega monoqavatli adsorbsiya sifatida talqin qilish imkonini beradi. Bundan tashqari, adsorbent besh sikl davomida o‘zining boshlang‘ich sig‘imining 81 % ini saqlab qolishi uni regeneratsiya qilish mumkinligini va amaliy qo‘llashdagi iqtisodiy samaradorligini tasdiqladi.

Umuman olganda, mahalliy xom-ashyo zaxiralarining mavjudligi va modifikatsiyalash texnologiyasining nisbatan soddaligi tabiiy seolit asosidagi adsorbentlarni keng joriy etish uchun zarur shart-sharoit yaratadi. Olingan natijalar ushbu adsorbentlarni mintaqadagi minizavod va kichik korxonalar chiqindi gazlarini tozalashda iqtisodiy hamda ekologik jihatdan samarali yechim sifatida tavsiya etish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mamatkulov A.S., Rustamov X.Q. Tabiiy seolitlarning fizik-kimyoviy xossalari va sanoatda qo‘llanilishi. — Toshkent: Fan, 2022. 248 b.
2. Sherbob T., Yusupov F. Atmosfera havosini ifloslantiruvchi sanoat manbalari va ularni kamaytirish usullari // O‘zbekiston kimyo jurnali. 2023. №4. B. 22-31.
3. Wang S., Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment // Chemical Engineering Journal. 2021. Vol. 405. 126685 pp.
4. Karimov D.D., Toshev N.R. Klinoptilolitning ammoniyli shakllarini olish va xarakterlash // Universum: Texnik fanlar. 2023. №7(112). 45–52 b.

ISSN 3030-3907

5. Liu Q., Wang X., Chen Y. SO_2 adsorption on Cu-modified zeolites: mechanism and kinetics study // Microporous and Mesoporous Materials. 2022. Vol. 339.111988 p.
6. Yormatov B., Bozorov A. O‘zbekistondagi seolit konlari va ularning resurs imkoniyatlari // Geologiya va mineral resurslar. 2024. №2. 18-26 b.
7. Margeta K., Logar N. Natural zeolites in water treatment — How effective is their use // Water Treatment / IntechOpen. 2020. 81–112 pp.
8. Holmatov U.X. Atrof-muhit muhofazasi va ekologik xavfsizlik. Buxoro: Durdona, 2023. 312 b.

ISSN 3030-3907