ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 7

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

UDK 661.183.6:549.67

XO‘JAKOL KAOLINI ASOSIDA K,NaA TIPIDAGI 3A MOLEKULYAR ELAK OLISHNING ION-ALMASHINISH ASOSLARI

Qorayeva Dilnovoz Kumakovna
Shurtan NGQChB
G‘ulomov Shuxratqodir Tashmatovich
TKTI
Yunusov Miraxmad Po‘latovich
UzKFITI

Annotatsiya. Maqolada Xo‘jakol kaolini asosida NaA tipidagi LTA seolitini sintez qilish va uni K^+/Na^+ ion-almashinish orqali K,NaA tipidagi 3A molekulyar elakka aylantirishning ilmiy-texnologik asoslari ko‘rib chiqildi. Zeolit adsorbentlari gaz va suyuqliklarni ajratish, chuqur quritish hamda molekulyar seleksiya jarayonlarida muhim materiallar sinfiga kiradi [1]. NaA seolitidagi almashinuvchi Na^+ kationlarining K^+ bilan qisman almashtirilishi LTA oynachasining samarali kirish diametrini toraytiradi va suv molekulalariga nisbatan selektivlikni oshiradi [2,3,12]. Ishda kaolin - metakaolin - NaA - K,NaA ketma-ketligi, K^+/Na^+ ion-almashinish sharoitlari, K^+ ulushining kristallik va adsorbsion xossalarga ta’siri, dinamik breakthrough hamda regeneratsion barqarorlik mezonlari tahlil qilindi. Model baholashlar K^+ almashinishning 60-75% oralig‘i LTA kristalligini saqlash, suv bug‘i sig‘imini qabul qilinadigan darajada ushlab turish va yirikroq molekulalarning kirishini cheklash uchun maqbul ishchi zona bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatdi. Barcha sonli grafiklar model qiymatlar bo‘lib, keyingi eksperimental bosqichda XRD, FTIR, SEM-EDS/XRF, BET, TGA va dinamik adsorbsiya ma’lumotlari bilan aniqlashtiriladi.

Kalit so‘zlar: Xo‘jakol kaolini, NaA seoliti, K,NaA, LTA, 3A molekulyar elak, K^+/Na^+ ion-almashinish, mikrog‘ovak, breakthrough, regeneratsiya, tabiiy gazni quritish.

Аннотация. В статье рассмотрены научно-технологические основы синтеза цеолита типа LTA NaA на основе каолина Хужаколь и его превращения в молекулярное сито типа 3A K,NaA посредством K^+/Na^+ ионного обмена. Цеолитовые адсорбенты относятся к важному классу материалов, используемых для разделения газов и жидкостей, глубокой осушки и процессов молекулярной селекции [1]. Частичная замена обменных катионов Na^+ в цеолите NaA на K^+ сужает эффективный диаметр входного окна LTA и повышает селективность по отношению к молекулам воды [2,3,12]. В работе проанализированы последовательность каолин – метакаолин – NaA – K,NaA, условия K^+/Na^+ ионного обмена, влияние доли K^+ на кристалличность и адсорбционные свойства, а также критерии

динамического breakthrough и регенерационной стабильности. Модельные оценки показали, что диапазон замещения K^+ 60–75% может являться оптимальной рабочей зоной для сохранения кристалличности LTA, поддержания приемлемой емкости по водяному пару и ограничения проникновения более крупных молекул. Все численные графики являются модельными значениями и будут уточнены на следующем экспериментальном этапе с использованием данных XRD, FTIR, SEM-EDS/XRF, BET, TGA и динамической адсорбции.

Ключевые слова: каолин Хужаколь, цеолит NaA, K,NaA, LTA, молекулярное сито 3A, K^+/Na^+ ионный обмен, микропоры, breakthrough, регенерация, осушка природного газа.

Abstract. The article examines the scientific and technological foundations for the synthesis of NaA-type LTA zeolite based on Khojakol kaolin and its conversion into K,NaA-type 3A molecular sieve through K^+/Na^+ ion exchange. Zeolite adsorbents belong to an important class of materials used for gas and liquid separation, deep drying, and molecular sieving processes [1]. Partial replacement of exchangeable Na^+ cations in NaA zeolite with K^+ narrows the effective entrance diameter of the LTA window and increases selectivity toward water molecules [2,3,12]. The study analyzes the kaolin–metakaolin–NaA–K,NaA sequence, the conditions of K^+/Na^+ ion exchange, the effect of K^+ fraction on crystallinity and adsorption properties, as well as the criteria of dynamic breakthrough and regeneration stability. Model evaluations showed that a K^+ exchange range of 60–75% may represent an optimal operating zone for preserving LTA crystallinity, maintaining acceptable water vapor capacity, and restricting the penetration of larger molecules. All numerical graphs represent model values and will be refined in the subsequent experimental stage using XRD, FTIR, SEM-EDS/XRF, BET, TGA, and dynamic adsorption data.

Keywords: Khojakol kaolin, NaA zeolite, K,NaA, LTA, 3A molecular sieve, K^+/Na^+ ion exchange, micropore, breakthrough, regeneration, natural gas drying.

1. KIRISH.

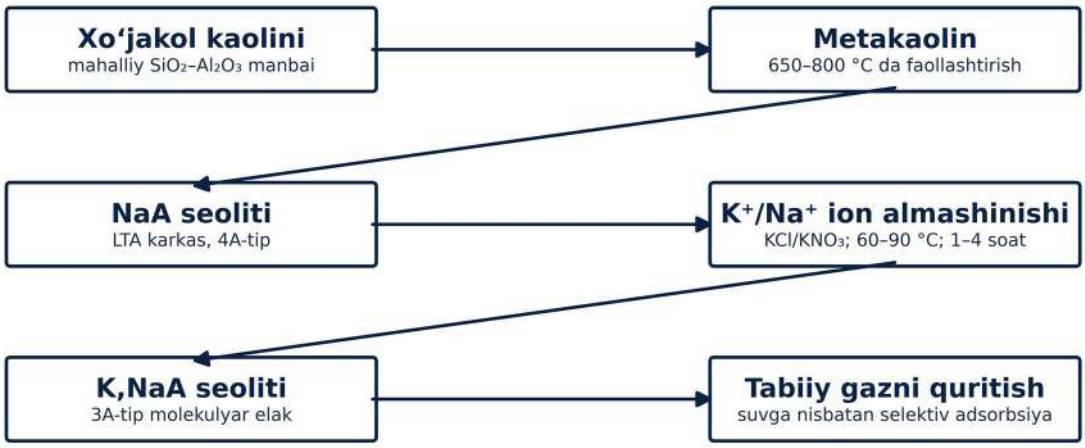
Tabiiy gaz tarkibidagi suv bug‘i gidrat hosil bo‘lishi, quvur va jihozlarda korroziya, adsorberlarda massa uzatish ko‘rsatkichlarining pasayishi, kriogen hamda past haroratli ajratish bloklarida muzlanish kabi muammolarni yuzaga keltiradi. Shu sababli chuqur quritish jarayonida adsorbentdan yuqori suv sig‘imi, takroriy regeneratsiyaga barqarorlik, mexanik mustahkamlik va molekulyar selektivlik birgalikda talab qilinadi [1,10,12].

A tipidagi LTA seolitlar tartibli aluminosilikat karkasi, past Si/Al nisbati, kuchli gidrofilligi va almashinuvchi kationlar mavjudligi bilan qurituvchi adsorbentlar orasida alohida o‘rin tutadi. NaA seoliti odatda 4A-tip molekulyar

ISSN 3030-3907

elak sifatida qaraladi; Na^+ kationlarining K^+ bilan qisman almashishi esa 3A-tipga yaqin g‘ovak kirishini shakllantiradi [3,9,12]. Bunday o‘zgarish oddiy tarkibiy modifikatsiya emas, balki LTA oynachasining samarali kirishini kation tarkibi orqali boshqarishdir.

K^+/Na^+ nisbati K,NaA adsorbentining amaliy xossalarini belgilovchi asosiy parametrdir. K^+ ulushi yetarli bo‘lmasa, 4A-tip NaA karkasi yirikroq molekulalarning kirishini to‘liq cheklamaydi; K^+ ulushi haddan tashqari yuqori bo‘lsa, suv sig‘imi, diffuziya tezligi va nisbiy kristallik pasayishi mumkin [2,11]. Shuning uchun 3A-tip adsorbentni ishlab chiqishda maksimal K^+ almashinish emas, balki kristallik, suv sig‘imi, selektivlik va regeneratsion barqarorlik o‘rtasidagi muvozanat muhimdir.



1-rasm. Xo‘jakol kaolinidan K,NaA tipidagi 3A molekulyar elakka o‘tishning ilmiy-texnologik sxemasi.

So‘nggi yillarda LTA seolitlarni tabiiy va ikkilamchi aluminosilikat xomashyolardan sintez qilish bo‘yicha tadqiqotlar kengaydi. Kaolin, tabiiy loy, fly ash va boshqa arzon manbalar seolit sintezi uchun ekologik hamda iqtisodiy jihatdan istiqbolli prekursorlar sifatida ko‘rilmoqda [4-8]. Kaolinning metakaolinga aylanishi gidrotermal kristallanish uchun reaktiv aluminosilikat muhit yaratadi; NaOH muhitida esa LTA karkasining shakllanishi uchun zarur Si va Al manbalari eruvchan holatga o‘tadi [4,6-8].

Mavjud adabiyotlarda ko‘plab ishlar kaolindan NaA seolitini olish va uning umumiy adsorbsion xossalarini baholash bilan cheklanadi [4-8]. Xo‘jakol kaolini asosida olingan NaA seolitini keyingi bosqichda K,NaA tipidagi 3A-selektiv qurituvchi adsorbentga aylantirish esa xomashyo kimyosi, kation almashinuvi va tabiiy gazni chuqur quritish texnologiyasini yagona ilmiy zanjirga birlashtiradi.

Mazkur maqolaning maqsadi Xo‘jakol kaolinidan sintez qilinadigan NaA seolitida K^+/Na^+ almashinish darajasini boshqarish va uning LTA kristalligi,

ISSN 3030-3907

mikrog‘ovak kirishi, suv bug‘i adsorbsiyasi, dinamik breakthrough hamda regeneratsion barqarorlikka ta’sirini model tahlil asosida baholashdan iborat. Maqolaning yangilik elementi shundaki, NaA seoliti yakuniy mahsulot sifatida emas, balki K,NaA tipidagi selektiv 3A adsorbent olish uchun oraliq karkas sifatida talqin qilinadi [2,3,12].

2. MATERIALLAR VA USULLAR.

Xomashyo va reagentlar

Asosiy xomashyo sifatida Xo‘jakol kaolini, ishqoriy faollashtiruvchi sifatida NaOH, ion-almashinish reagenti sifatida KCl yoki KNO_3 eritmasi qo‘llanadi[14]. Kaolinning fazaviy tarkibi XRD, element tarkibi esa XRF yoki SEM-EDS bilan aniqlanadi. SiO_2/Al_2O_3 nisbati NaA tipidagi LTA karkas shakllanishi uchun muhim nazorat ko‘rsatkichidir [4-7].

NaA seolitini sintez qilish

Kaolin 650-800 °C oralig‘ida termik faollashtirilib metakaolinga aylantiriladi. Termik faollashtirish kaolinitning tartibli qatlamli tuzilmasini buzadi va gidrotermal kristallanish uchun reaktiv aluminosilikat muhit yaratadi [4,6]. Metakaolin NaOH eritmasi bilan ishlanib, gidrotermal sharoitda NaA tipidagi LTA seolitiga o‘tkaziladi. Sintez mahsuloti filtrlanadi, neytral muhitga yaqin pH gacha yuviladi, 100-120 °C da quritiladi va NaA-0 nazorat namunasi sifatida belgilanadi[13]..

K^+/Na^+ ion-almashinish

NaA namunasi KCl yoki KNO_3 eritmasida 60-90 °C da 1-4 soat ishlanadi. Zarurat bo‘lsa, almashinish 2-3 siklda takrorlanadi. Jarayonning umumiy tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$Na_{12}A + xKCl \rightarrow K_xNa_{12-x}A + xNaCl$$

Bu yerda A - LTA aluminosilikat karkasi; x - Na^+ o‘rnini egallagan K^+ kationlari soni. K^+ almashinish darajasi quyidagi tenglama bilan hisoblanadi:

$$\alpha K = n(K^+) / [n(K^+) + n(Na^+)] \times 100\%$$

Bu tenglamada αK - K^+ almashinish darajasi, %; $n(K^+)$ va $n(Na^+)$ - mos ravishda seolit tarkibidagi K^+ va Na^+ ionlarining modda miqdori. K/Na nisbati SEM-EDS, XRF yoki ICP-OES yordamida tasdiqlanishi maqsadga muvofiq.

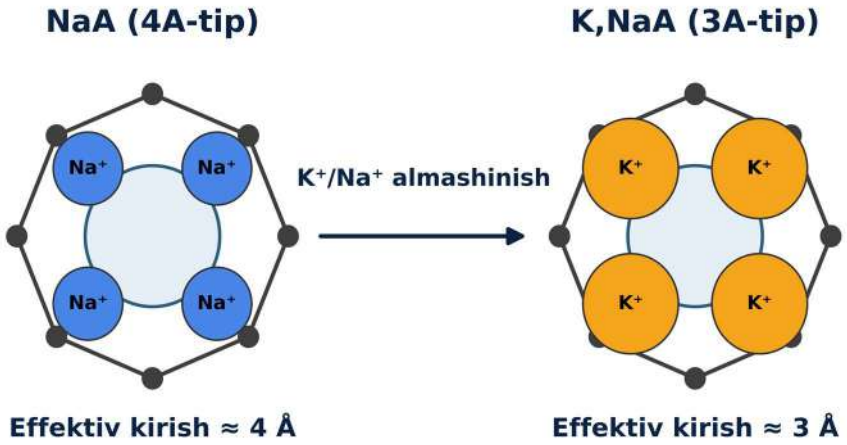
Tavsiflash va model baholash maqomi

Namunalar XRD, FTIR, SEM-EDS/XRF, BET/N_2 adsorbsiya, TGA/DSC, statik suv bug‘i adsorbsiyasi va dinamik breakthrough sinovi orqali baholanadi. Breakthrough atamasi adsorber chiqishida namlik konsentratsiyasining belgilangan chegaraga yetishi, ya’ni namlik frontining adsorbent qatlamidan o‘tib chiqishi ma’nosida ishlatiladi [1,2].

Ushbu ishda keltirilgan sonli qiymatlar model baholash xarakteriga ega. Ular NaA → K,NaA o‘tishida kutiladigan strukturaviy va adsorbsion

ISSN 3030-3907

tendensiyalarni ko‘rsatish uchun ishlatiladi; keyingi eksperimental bosqichda bu ko‘rsatkichlar real XRD, FTIR, SEM-EDS/XRF, BET, TGA va dinamik adsorbsiya natijalari bilan aniqlashtiriladi.



2-rasm. NaA va K,NaA seolitlarida K^+/Na^+ ion-almashinish natijasida LTA oynachasining samarali kirish diametri o‘zgarishining sxematik talqini.

1-jadval.

K,NaA seoliti olish uchun tavsiya etiladigan eksperimental matritsa

Namuna	KCl, mol/L	T, °C	Vaqt, soat	Sikl	Tadqiqot vazifasi
NaA-0	0	-	-	-	Boshlang‘ich 4A-tip nazorat
KNaA-25	0.25	70	2	1	Past K^+ ta’sirini baholash
KNaA-50	0.50	80	2	1	O‘rtacha almashinish va kristallik
KNaA-65	0.75	80	3	2	3A-tipga yaqin ishchi zona
KNaA-75	1.00	85	3	2	Optimal zona qidiruvi
KNaA-90	1.00	90	4	3	Ortiqcha almashinish xavfi

2-jadval.

Tavsiflash usullari va ularning ilmiy vazifasi

Usul	Aniqlanadigan parametr	Maqoladagi vazifasi
XRD	LTA faza, nisbiy kristallik, qo‘shimcha fazalar	NaA va K,NaA karkasi saqlanganini tasdiqlash
FTIR	Si-O-Al, Si-O-Si, OH va suv tebranishlari	Karkas va gidratlanish o‘zgarishini ko‘rsatish

ISSN 3030-3907

SEM-EDS/XRF	Morfologiya, K/Na, Si/Al	Ion-almashinish darajasini miqdoriy ko‘rsatish
BET/N_2	Sirt maydoni, mikro/mezog‘ovak tuzilma	Tekstura o‘zgarishini baholash
TGA/DSC	Suv tutish va termik barqarorlik	Regeneratsiya intervalini asoslash
Breakthrough testi	Real ishchi suv sig‘imi, C/C_0	Adsorberga yaqin amaliy baholash
Regeneratsiya testi	Siklli barqarorlik	Ko‘p marta qayta ishlatish imkoniyatini baholash

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

K^+/Na^+ almashinish darajasi va mikrog‘ovak boshqaruvi

K^+ ulushi ortishi bilan LTA oynachasi atrofidagi sterik to‘siq kuchayadi va yirikroq molekulalarning mikrog‘ovakka kirishi cheklanadi [2,3]. Shu bilan birga, ortiqcha K^+ almashinish suv sig‘imini kamaytirishi va kristallikning pasayishiga olib kelishi mumkin. Demak, optimal adsorbent eng yuqori K^+ ulushiga ega namuna emas, balki kristallik, suv sig‘imi va selektivlik o‘rtasida muvozanat bergan namuna bo‘lishi kerak.

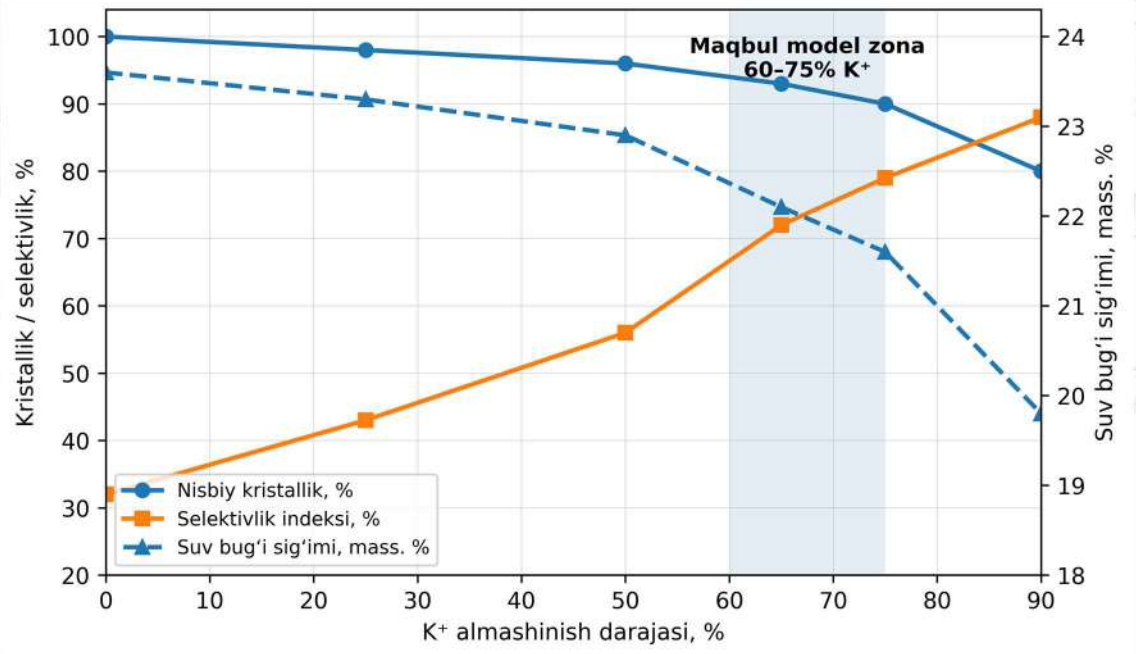
3-jadval.

K^+/Na^+ almashinish darajasining model strukturaviy va adsorbsion ko‘rsatkichlarga ta’siri

Namuna	**αK, %**	**Nisbiy kristallik, %**	**Suv bug‘i sig‘imi, mass. %**	**Selektivlik indeksi, %**	**Ilmiy talqin**
NaA-0	0	100	23.6	32	4A-tip; suv sig‘imi yuqori, selektivlik pastroq
KNaA-25	25	98	23.3	43	Boshlang‘ich K^+ ta’siri
KNaA-50	50	96	22.9	56	O‘rtacha almashinish
KNaA-65	65	93	22.1	72	Maqbul 3A-tip zona
KNaA-75	75	90	21.6	79	Eng istiqbolli model interval

ISSN 3030-3907

KNaA-90	90	80	19.8	88	Selektivlik yuqori, ammo kristallik va sig‘im zaiflashadi

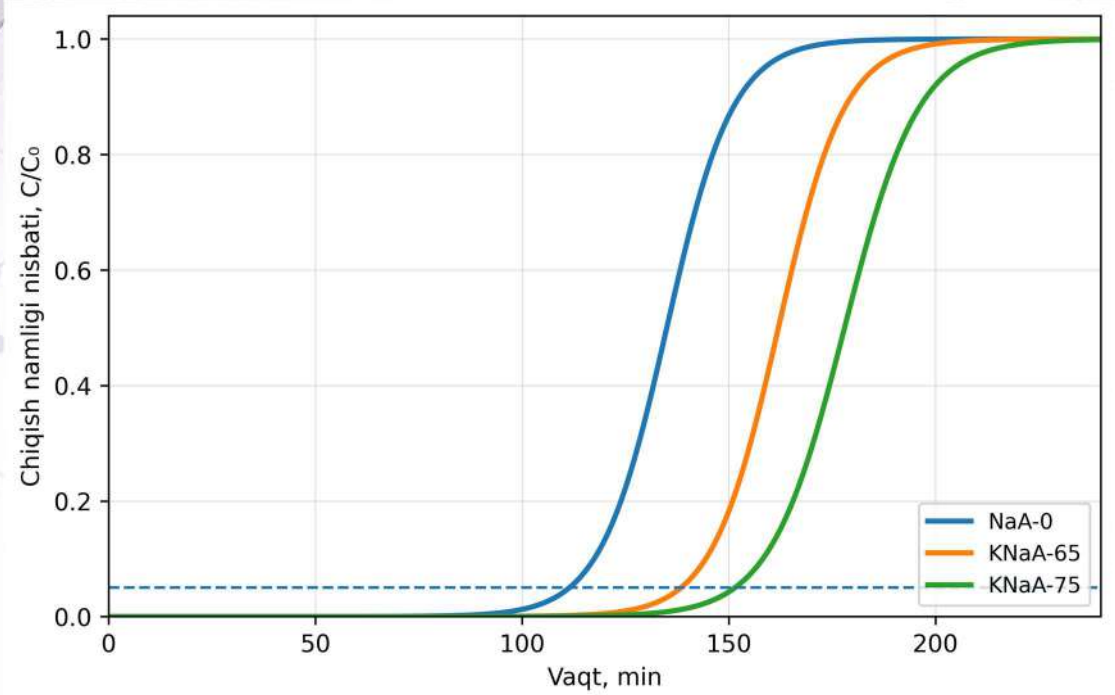


3-rasm. K^+/Na^+ almashinish darajasining kristallik, selektivlik va suv bug‘i sig‘imiga model ta’siri.

Dinamik breakthrough talqini

Statik suv sig‘imi adsorbent imkoniyatini baholash uchun muhim, lekin gazni quritishda dinamik breakthrough sinovi yanada amaliyroq ko‘rsatkich beradi [1,2]. $C/C_0 = 0.05$ chegarasi shartli breakthrough nuqtasi sifatida tanlanganda, KNaA-65 va KNaA-75 model namunalarida namlik fronti NaA-0 ga nisbatan kechroq chiqadi. Bu K^+/Na^+ almashinish hisobiga yirikroq molekulalarning kirishi cheklanishi va suvga nisbatan selektivlikning kuchayishi bilan izohlanadi.

ISSN 3030-3907



4-rasm. NaA va K,NaA namunalarining tabiiy gazni quritish uchun model breakthrough egri chiziqlari.

Regeneratsion barqarorlik va amaliy baholash

Molekulyar elaklar sanoatda ko‘p marta regeneratsiya qilinadi. Shuning uchun adsorbentning bir martalik suv sig‘imi bilan bir qatorda, sikllar davomida sig‘imni saqlash qobiliyati ham baholanishi kerak [10-12]. Model tahlilga ko‘ra, KNaA-65 va KNaA-75 kabi oraliq K^+ almashinishga ega namunalarda kristallik va suv sig‘imi o‘rtasidagi muvozanat nisbatan maqbul bo‘lishi mumkin.

4-jadval.

NaA va K,NaA adsorbentlarining amaliy mezonlar bo‘yicha qiyosiy bahosi

Ko‘rsatkich	**NaA / 4A-tip**	**K,NaA / 3A-tip**	**Texnologik ahamiyati**
Asosiy kation	Na^+	$K^+ + Na^+$	Kation tarkibi funksional parametrdir
Effektiv kirish	≈4 Å	≈3 Å	Yirikroq molekulalar kirishi cheklanadi
Suvga selektivlik	Yuqori	Yuqoriroq va boshqariladigan	Gaz quritish uchun muhim
Breakthrough vaqti	Bazaviy	Kechikkan	Adsorber ishchi resursini oshirishi mumkin
Regeneratsion barqarorlik	Yaxshi	Optimal K^+ zonasida yuqori	Ko‘p siklli ishlash uchun zarur

ISSN 3030-3907

Tadqiqot qiymati	Oddiy NaA sintezi	Funksional 3A-tip selektiv adsorbent	Maqolaning amaliy yangiligini belgilaydi

Tadqiqot cheklanishlari va keyingi bosqichlar

Ushbu bosqichda keltirilgan grafiklar va sonli qiymatlar model baholash sifatida talqin qilinadi. Xo‘jakol kaolinining real kimyoviy tarkibi, NaA fazasining XRD orqali tasdiqlanishi, K/Na nisbatining EDS/XRF/ICP bilan miqdoriy isboti, suv bug‘i adsorbsiyasi va breakthrough egri chiziqlarining real gaz sharoitida o‘lchanishi keyingi tadqiqot bosqichining asosiy vazifalari hisoblanadi.

4. XULOSA.

Xo‘jakol kaolini NaA va undan keyingi K,NaA seoliti olish uchun istiqbolli mahalliy aluminosilikat xomashyo sifatida qaralishi mumkin.

NaA seolitida K^+/Na^+ ion-almashinish LTA mikrog‘ovak kirishini boshqaruvchi asosiy vosita bo‘lib xizmat qiladi. Model tahlil K^+ almashinishning 60-75% oralig‘i kristallik, suv bug‘i sig‘imi va selektivlik o‘rtasida maqbul muvozanat zonasi bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatdi. Dinamik breakthrough va regeneratsion barqarorlik mezonlarini hisobga olish K,NaA adsorbentini faqat sintez mahsuloti sifatida emas, balki amaliy qurituvchi material sifatida baholash imkonini beradi. Keyingi eksperimental bosqichda XRD, FTIR, SEM-EDS/XRF, BET, TGA hamda statik va dinamik suv adsorbsiyasi ma’lumotlarini birgalikda tahlil qilish K,NaA adsorbentining amaliy yaroqliligini aniqlashtiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Pérez-Botella E., Valencia S., Rey F. Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects. Chemical Reviews. 2022;122(24):17647-17695. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00140.

2. Baghelani M., Kazemian H., Bayati B., Noorollahi E. Effect of K/Na ratio on adsorption of sweetened gas in dehydration packed bed adsorber: A Monte Carlo simulation study of single and multicomponent gas mixture. Chemical Engineering Research and Design. 2023;197:643-655. DOI: 10.1016/j.cherd.2023.07.043.

3. Zeochem. Molecular Sieve Adsorbents Brochure: 3A, 4A and 5A molecular sieves, pore sizes and applications. Technical data brochure. 2023.

4. Collins F., Rozhkovskaya A., Outram J.G., Millar G.J. A critical review of waste resources, synthesis, and applications for Zeolite LTA. Microporous and Mesoporous Materials. 2020;291:109667. DOI: 10.1016/j.micromeso.2019.109667.

5. Khaleque A., Alam M.M., Hoque M., Mondal S., Haider J.B., Xu B., Johir M.A.H., Karmakar A.K., Zhou J.L., Ahmed M.B., Moni M.A. Zeolite synthesis

ISSN 3030-3907

from low-cost materials and environmental applications: A review. Environmental Advances. 2020;2:100019. DOI: 10.1016/j.envadv.2020.100019.
6. Pan J., Wang B., Liu S., Liu S., Yan W. Synthesis and Application of LTA Zeolite for the Removal of Inorganic and Organic Hazardous Substances from Water: A Review. Molecules. 2025;30(3):554. DOI: 10.3390/molecules30030554.
7. Indira V., Abhitha K. A review on recent developments in Zeolite A synthesis for improved carbon dioxide capture: Implications for the water-energy nexus. Energy Nexus. 2022;7:100095. DOI: 10.1016/j.nexus.2022.100095.
9. Oydinov M. et al. Kaolin-derived zeolites: synthesis, characterization, and adsorption efficiency of methylene blue. Inorganic Chemistry Communications. 2026;184:115921. DOI: 10.1016/j.inoche.2025.115921.
10. International Zeolite Association (IZA). Database of Zeolite Structures: LTA Framework Type. https://europe.iza-structure.org/IZA-SC/framework.php?STC=LTA.
11. Azhagapillai P., Khaleel M., Zoghieb F., Luckachan G., Jacob L., Reinalda D. Water Vapor Adsorption Capacity Loss of Molecular Sieves 4A, 5A, and 13X Resulting from Methanol and Heptane Exposure. ACS Omega. 2022;7(8):6463-6471. DOI: 10.1021/acsomega.1c03370.
12. Yang S., Guo X., Verma A., Shiflett M.B., Corbin D.R., Navrotsky A. Thermochemical Insights into Stability and Hydration of Ion-Exchanged Zeolite ZK-5 (KFI Framework). The Journal of Physical Chemistry C. 2020;124(48):26193-26202. DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c06796.
13. Lin R., Ladshaw A., Nan Y., Liu J., Yiacoumi S., Tsouris C., DePaoli D.W., Tavlarides L.L. Isotherms for Water Adsorption on Molecular Sieve 3A: Influence of Cation Composition. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2015;54(42):10442-10448. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b01411.
S Gulomov, D Turdieva, N Isaeva, D Narzullaev. Catalytic neutralization of gas emissions in the manufacture of pharmaceutical preparations. E3S Web Conf. Volume 411, 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102024
15. M.P Yunusov, Sh.B Djalalova, Kh.A. Nasullaev. Sh.T Gulomov. New Catalytic Systems for Hydrofining and Dearomatization Processes of Oil Fractions. Catalysis for Sustainable Energy, 2016 3/1. https://doi.org/10.1515/cse-2016-0003

ISSN 3030-3907