ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 6

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.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

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

SANOATDA ISHLATILADIGAN SORBENTLARNING TURLARI VA QO‘LLANISHI

Niyozov Erkin Dilmurodovich
T.f.n., dotsent, Osiyo xalqaro universiteti
Sultonova Sitora Faxriddinovna
Buxoro davlat universiteti
Norov Ilgor Ilxomovich
Buxoro davlat universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada sanoatda keng qo‘llaniladigan sorbentlarning asosiy turlari, ularning fizik-kimyoviy xossalari va turli sanoat tarmoqlarida qo‘llanilishi to‘liq ko‘rib chiqilgan. Sorbentlar - moddalarni adsorbsiya, absorbsiya yoki ion almashinuvi mexanizmlari orqali o‘ziga tortuvchi materiallar bo‘lib, kimyo, neft-gaz, oziq-ovqat, farmatsevtika va ekologiya sanoatida muhim rol o‘ynaydi. Aktivlashtirilgan ko‘mir, seolit, silika gel, alyuminiy oksid, ion almashinuvchi smolalar, polimer sorbentlar va biosorbentlarning xususiyatlari hamda afzallik-kamchiliklari tahlil qilingan. Zamonaviy sorbent materiallarining sintez usullari, modifikatsiya yo‘llari va regeneratsiya imkoniyatlari muhokama qilingan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, nano-tuzilishli va kompozit sorbentlar an’anaviy materiallardan 3-5 barobar yuqori samaradorlikka ega bo‘lib, energiya sarfini 20-35% ga kamaytirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: sorbentlar, adsorbsiya, seolitlar, aktivlashtirilgan ko‘mir, ion almashinuvi, sanoat tozalash, nano-sorbentlar, silikagel, biosorbentlar, ekologiya.

Аннотация. В данной статье проведён комплексный анализ основных типов сорбентов, широко применяемых в промышленности, их физико-химических свойств и областей использования в различных отраслях. Сорбенты представляют собой материалы, способные поглощать вещества посредством механизмов адсорбции, абсорбции или ионного обмена, и играют важную роль в химической, нефтегазовой, пищевой, фармацевтической и экологической промышленности. Рассмотрены свойства, преимущества и ограничения таких сорбентов, как активированный уголь, цеолиты, силикагель, оксид алюминия, ионообменные смолы, полимерные сорбенты и биосорбенты. Проанализированы современные методы синтеза, способы модификации и возможности регенерации сорбционных материалов. Показано, что наноструктурированные и композиционные сорбенты обладают существенно более высокой эффективностью (в 3–5 раз) по сравнению с традиционными материалами и позволяют снизить энергозатраты на 20–35%.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: сорбенты, адсорбция, цеолиты, активированный уголь, ионный обмен, промышленная очистка, наносорбенты, силикагель, биосорбенты, экология.

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of the main types of sorbents widely used in industry, their physicochemical properties, and their applications across various sectors. Sorbents are materials capable of removing substances through adsorption, absorption, or ion-exchange mechanisms, and they play a crucial role in the chemical, oil and gas, food, pharmaceutical, and environmental industries. The properties, advantages, and limitations of key sorbents, including activated carbon, zeolites, silica gel, aluminum oxide, ion-exchange resins, polymeric sorbents, and biosorbents, are systematically reviewed. Modern synthesis methods, modification approaches, and regeneration capabilities of sorption materials are also analyzed. The results indicate that nanostructured and composite sorbents exhibit significantly higher efficiency (3–5 times) compared to conventional materials and can reduce energy consumption by 20–35%.

Keywords: sorbents, adsorption, zeolites, activated carbon, ion exchange, industrial purification, nanosorbents, silica gel, biosorbents, environmental protection.

KIRISH.

Sanoat rivojlanishi va atrof-muhitga bo'lgan antropogen ta'sirning ortib borishi munosabati bilan sorbent materiallaridan foydalanish tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Sorbentlar - bu gaz, suyuqlik yoki eritmalardan turli moddalarni selektiv ravishda o‘ziga tortib, ularni ushlab turish qobiliyatiga ega bo‘lgan maxsus materiallar sinfi hisoblanadi [1, 2]. Ushbu xususiyat ularni sanoatning keng qamrovli tarmoqlarida - neft-gazni qayta ishlash, kimyo sanoati, oziq-ovqat texnologiyasi, farmatsevtika va atrof-muhitni muhofaza qilishda - almashtirib bo‘lmas vosita sifatida belgilaydi.

Dunyoda har yili 2,5 million tonnadan ortiq sorbent materiallari ishlab chiqariladi va bu ko‘rsatkich yiliga o‘rtacha 6-8% ga o‘sib bormoqda [3]. O‘zbekistonda ham mazkur yo‘nalishda faol tadqiqotlar amalga oshirilmoqda: respublikamizda tabiiy seolit zahiralari (Navbahor, Qo‘yimozor konlari), bentonit gillar va boshqa mahalliy xom ashyo bazasida sorbentlar ishlab chiqarish bo‘yicha ilmiy-amaliy ishlar kengaytirilmoqda [4].

Sorbent materiallarini tanlash mezonlari ko‘p omilli bo‘lib, ular qatoriga: sorbsiya qilinayotgan moddaga nisbatan selektivlik, yuqori adsorbsiya sig‘imi, kimyoviy barqarorlik, regeneratsiyalash qulayligi, mexanik mustahkamlik va iqtisodiy samaradorlik kiradi [5]. Ushbu maqolaning maqsadi - mavjud

ISSN 3030-3907

sorbentlarning asosiy turlarini tizimlashtirib, ularning sanoatdagi qo'llanilish sohalarini va istiqbolli rivojlanish yo‘nalishlarini yoritishdan iborat.

Sorbsiya jarayonlari uch asosiy mexanizm orqali amalga oshadi [6]: 1) Adsorbsiya - moddalarning sorbent sirtida yutilishi. Bu jarayon fizikaviy (Van der Vaals kuchlari ta’sirida) yoki kimyoviy (kovalent bog‘ hosil bo‘lishi bilan) bo‘lishi mumkin; 2) Absorbsiya - moddaning sorbent butun hajmi bo‘ylab yutilishi; 3) Ion almashinuvi - sorbent va eritma orasida ionlar almashinuvi jarayoni, kation yoki anion almashinuv smolalari orqali amalga oshadi.

Adsorbsiya jarayonining miqdoriy tavsifi uchun Leyngmyur va Freyndlix izotermalaridan foydalaniladi. Leyngmyur tenglamasi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e}$$

bu yerda: q_e - muvozanat holatidagi adsorbsiya miqdori (mg/g); q_{max} - maksimal adsorbsiya sig'imi (mg/g); K_L - Leyngmyur konstantasi (L/mg); C_e - muvozanat konsentratsiyasi (mg/L) [7].

Sorbentlarning sanoatdagi samaradorligi quyidagi asosiy parametrlar bilan belgilanadi [8]: Solishtirma sirt maydoni (m^2/g) - sorbentning samaradorligini bevosita belgilovchi eng muhim ko‘rsatkich. Aktivlashtirilgan ko‘mir uchun bu qiymat 500-3000 m^2/g, seolitlar uchun 100-800 m^2/g ga yetadi. G‘ovakli tuzilish – mikrog‘ovak (< 2 nm), mezog‘ovak (2-50 nm) va makrog‘ovak (> 50 nm) sorbentlar turli qo‘llanilish sohalari uchun maqbuldir. Mikrog‘ovakli materiallar past molekulyar massali birikmalarni, mezog‘ovaklilar esa yirik molekulalarni adsorbsiyalashga moslashgan.

Aktivlashtirilgan ko‘mir - eng keng tarqalgan va ko‘p qirrali sanoat sorbenti bo‘lib, u ko‘mir, torf, yog‘och, yong‘oq po‘chog‘i va boshqa uglerod manbalari asosida ishlab chiqariladi [9]. Aktivlashtirish jarayoni ikki bosqichda amalga oshadi. Birinchi bosqich - karbonizatsiya: xomashyo 400-700°C haroratda inert muhitda (azot yoki argon gazi oqimida) pirolizga uchratiladi. Bu bosqichda uglerod tarkibidagi organik birikmalar haydab chiqariladi va g‘ovakli tuzilma shakllanadi. Ikkinchi bosqich - aktivlashtirish: karbonizatsiyalangan mahsulot fizikaviy (suv bug‘i, CO_2, 800-900°C) yoki kimyoviy ($ZnCl_2$, KOH, H_3PO_4 bilan) usulda aktivlashtiriladi. Natijada solishtirma sirt maydoni 1000-3000 m^2/g ga yetadi va g‘ovaklar tizimi yanada rivojlanadi [10].

ISSN 3030-3907

1-jadval

Aktivlashtirilgan ko'mirning asosiy sanoat markalari va xususiyatlari

Xom ashyo	Sirt yuzasi (m^2/g)	G‘ovaklilik (%)	Qo‘llanilishi
Ko‘mir	700-900	50-55	Suvni tozalash
Ko‘mir	900-1100	52-58	Gazlarni ajratish
Torf	800-1000	48-53	Farmatsevtika
Yog‘och	600-850	45-50	Oziq-ovqat

Seolitlar - kristall tuzilishga ega bo‘lgan alyumosilikat minerallar bo‘lib, ularning asosiy xususiyati qat’iy tartiblangan kanal va bo‘shliqlardan tashkil topgan g‘ovakli strukturaning mavjudligidir. Tabiiy seolitlarga klinoptilolit, mordenit, analsim va shabazit kiradi, sun’iy seolitlarga esa A, X, Y va ZSM-5 tipidagi materiallar mansub bo‘lib, ular sanoatda keng qo‘llaniladi [11, 12]. Seolitlarning muhim afzalliklaridan biri - ularning molekulyar elak sifatida ishlash qobiliyatidir. Masalan, 3A tipidagi seolit diametri taxminan 0,3 nm bo‘lgan molekulalarni (suv, ammiak), 4A tipidagi esa 0,4 nm o‘lchamli molekulalarni (CO_2, SO_2, H_2S) selektiv adsorbsiyalaydi. Ushbu xususiyat ularni gaz aralashmalarini ajratishda samarali sorbent sifatida qo‘llash imkonini beradi [13]. O‘zbekistonda Novdara (Toshkent viloyati) va Qo‘yimozor (Samarqand viloyati) konlarida tabiiy klinoptilolit zahiralari 50 million tonnadan ortiq deb baholanadi. Mahalliy xomashyo asosida yuqori samarali ion almashinuvi va adsorbsiya xususiyatlariga ega sorbentlar ishlab chiqarish istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi [4, 14].

Silikagel - gidratlangan silikat kislotasining g‘ovakli amorf shakli bo‘lib, u namlikni adsorbsiyalashda yuqori samaradorlikka ega. Uning solishtirma sirt maydoni odatda 300-800 m^2/g, g‘ovak hajmi esa 0,3-1,2 ml/g ni tashkil etadi. Silikagel elektrotexnika sanoatida qurituvchi sifatida, xromatografiyada stasionar faza sifatida hamda farmatsevtikada namlikni nazorat qilish maqsadida keng qo‘llaniladi [15]. Faollashtirilgan alyuminiy oksid (Al_2O_3) yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo‘lib, kislotali va ishqoriy muhitlarga nisbatan barqarorligi bilan ajralib turadi. Uning asosiy qo‘llanilish sohalariga suvdagi ftorid ionlarini ajratish (deflyuoratsiya, sig‘imi 2-8 mg/g), gaz oqimlarini quritish hamda katalitik jarayonlarda tashuvchi sifatida foydalanish kiradi [16].

Ion almashinuvchi smolalar (ionitlar) - qat’iy polimer matritsaga kovalent bog‘langan funksional guruhlar orqali ionlarni selektiv almashinish xususiyatiga ega bo‘lgan materiallardir. Ular funksional guruh tabiatiga ko‘ra kationitlar (sulfo-

ISSN 3030-3907

va karboksil guruhli) hamda anionitlar (ammoniy va amin guruhli) ga bo‘linadi [17]. Sanoatda ionitlar quyidagi asosiy jarayonlarda keng qo‘llaniladi: suvni yumshatish (Ca^{2+} va Mg^{2+} ionlarini Na^{+} ionlariga almashinish; ion almashinish sig‘imi odatda 1,5-2,5 mg/ml), metallurgiyada qimmatbaho metallarni (Au, Pt, U) eritmalardan ajratib olish, farmatsevtika sanoatida yuqori tozalikdagi suv tayyorlash hamda oziq-ovqat sanoatida shakar eritmalarini tozalash [18].

Polimer sorbentlar - sintetik organik polimerlar asosida yaratilgan g‘ovakli materiallar bo‘lib, ular yuqori kimyoviy barqarorlik, keng funksionall imkoniyati va regeneratsiya qulayligi bilan tavsiflanadi. Ularning asosiy vakillariga polivinilpirolidon (PVP), polivinil spirt (PVA), XAD tipidagi smolalar hamda molekulyar imprinting (MIP) sorbentlari kiradi. Molekulyar imprinting texnologiyasi farmatsevtika va ekologik monitoring sohalarida muhim ahamiyat kasb etadi, chunki ushbu usul orqali olingan sorbentlar ma’lum maqsadli molekulalarga nisbatan yuqori selektivlik (taqsimlanish koeffitsienti $K > 10$) namoyon etadi [19, 20].

Biosorbentlar - biologik kelib chiqishga ega materiallar bo‘lib, ular suvo‘tlar, zamburug‘li biomassa, qishloq xo‘jaligi chiqindilari (masalan, guruch po‘chog‘i, g‘o‘za chanog‘i) hamda bakterial biomassa asosida olinadi. Ushbu materiallarning asosiy afzalliklari - arzonligi, biologik parchalanishi va og‘ir metall ionlarini (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{6+}, Hg^{2+}) suv muhitidan samarali sorbsiyalash qobiliyatidir.

Adsorbsiya izotermasi - doimiy haroratda sorbent va eritma (yoki gaz fazasi) o‘rtasidagi muvozanat holatini tavsiflovchi bog‘liqlik bo‘lib, u sorbentning maksimal sig‘imi, adsorbsiya mexanizmi hamda jarayonning termodinamik xususiyatlarini aniqlashda muhim vosita hisoblanadi [34]. Amaliyotda eng keng qo‘llaniladigan izoterma modellari quyidagilardan iborat:

Leyngmyur modeli - bir qatlamli adsorbsiyani va sorbent sirtida energetik jihatdan bir xil faol markazlarning mavjudligini taxmin qiladi.

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

bu yerda q_{max}- maksimal bir qatlamli adsorbsiya sig‘imi (mg/g), K_L - Leyngmyur muvozanat konstantasi (l/mg).

Ajratish omili R_L quyidagicha aniqlanadi:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0}$$

Agar $R_L < 1$ bo‘lsa, jarayon qulay, $R_L = 0$ - qaytmas, $R_L = 1$ - chiziqli, $R_L > 1$ - noqulay hisoblanadi [35]. Aktivlashtirilgan ko‘mirda og‘ir metall ionlari adsorbsiyasi uchun R_L odatda 0,01-0,5 oralig‘ida bo‘lib, bu jarayonning yuqori samaradorligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Freyndlix modeli geterogen sirtlarda ko‘p qatlamli adsorbsiyani tavsiflovchi empirik modeldir:

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

bu yerda K_F - adsorbsiya sig‘imiga bog‘liq konstanta, $1/n$ - geterogenlik ko‘rsatkichi (adsorbsiya intensivligi).

Agar $1/n < 1$ bo‘lsa, adsorbsiya qulay, $1/n > 1$ bo‘lsa - noqulay hisoblanadi. Tenglamaning logarifmik shakli eksperimental ma’lumotlardan K_F va n parametrlarini aniqlash imkonini beradi [36]. Seolitlar uchun n qiymati odatda 2-5 oralig‘ida bo‘lib, bu ularning yuqori selektivligini ko‘rsatadi.

Temkin izotermasi adsorbsiya issiqligining sirt qoplamasi bilan chiziqli ravishda o‘zgarishini hisobga oladi va geterogen sirtlar uchun mos keladi:

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(A_T C_e)$$

bu yerda A_T - Temkin muvozanat bog‘lanish konstantasi (L/g), b_T - adsorbsiya issiqligiga bog‘liq konstanta (J/mol), R - universal gaz konstantasi, T - absolut harorat. Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermasi esa g‘ovakli materiallar (ayniqsa aktivlashtirilgan ko‘mir va seolitlar) uchun maqbul bo‘lib, adsorbsiyaning fizikaviy yoki kimyoviy tabiatini aniqlashga imkon beradi. D-R modelidagi erkin adsorbsiya energiyasi $E = 8 - 16\ kJ/mol$ bo‘lsa, ion almashinuvi mexanizmi, $E < 8\ kJ/mol$ bo‘lsa, fizikaviy adsorbsiya yuz bermoqda degan xulosaga kelinadi [37].

3-jadval

Turli sorbent–sorbat juftlari uchun izoterma parametrlari (T = 25°C)

Sorbent	Sorbat	Model	q_{max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2
Akt. Ko‘mir	Fenol	Leyngmyur	312,5	0,042	0,998
Klinoptilolit	NH_4^+	Leyngmyur	18,7	0,156	0,995
Silikagel	CO_2	Freyndlix	—	KF=2,34	0,991
Al_2O3 (faal.)	F^-	Leyngmyur	6,8	0,312	0,997
Biosorbent	Pb^{2+}	Leyngmyur	156,3	0,089	0,996
MOF-5	CH_4	D-R	—	E=12,4 kJ	0,999

O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, turli turdagi sorbent materiallar o‘ziga xos fizik-kimyoviy xossalar, afzalliklar va cheklovlarga ega. Shu sababli, sanoat sharoitlari uchun optimal sorbentni tanlash ko‘p mezonli optimallashtirish

ISSN 3030-3907

masalasi sifatida qaraladi. Bunda energiya sarfi, regeneratsiya barqarorligi (sikllar soni), selektivlik, mexanik mustahkamlik hamda iqtisodiy samaradorlik (narx-sifat nisbati) asosiy baholash mezonlari hisoblanadi.

Shu nuqtai nazardan, hozirgi bosqichda gibrid yondashuv, ya'ni an'anaviy sorbentlarni nano-o'lchamli komponentlar bilan modifikatsiyalash eng istiqbolli yo'nalish sifatida namoyon bo'lmoqda. Mazkur yondashuv sorbentlarning funksional xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilagan holda, umumiy iqtisodiy xarajatlarni nisbatan past darajada saqlab qolish imkonini beradi. Adabiyot ma'lumotlariga ko'ra, bunday modifikatsiya natijasida adsorbsiya samaradorligini 2-3 baravar oshirish mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Ruthven, D.M. Principles of Adsorption and Adsorption Processes. John Wiley & Sons, New York, 1984. 433 p.
2. Do, D.D. Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics. Imperial College Press, London, 1998. 892 p.
3. Size M. V. M. Share & trends analysis report //URL: https://www. grandviewresearch. com/industry-analysis/automated-guided-vehicle-agv-market. – 2020.
4. Fayzullaev N.I., Mamadoliev I.I. Mahalliy xomashyolardan olingan yuqori kremniyli seolitli sistemalarining xarakteristikalari //SamDU ilmiy axborotnoma. – 2020. –№.119. – 52-56.
5. Yang, R.T. Adsorbents: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, Hoboken, 2003. 424 p.
6. Crini, G., Lichtfouse, E. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment // Environmental Chemistry Letters. 2019. Vol. 17. P. 145–155.
7. Langmuir, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum // Journal of the American Chemical Society. 1918. Vol. 40(9). P. 1361–1403.
8. Sing, K.S.W. et al. Reporting physisorption data for gas/solid systems // Pure and Applied Chemistry. 1985. Vol. 57(4). P. 603–619.
9. Bansal, R.C., Goyal, M. Activated Carbon Adsorption. CRC Press, Boca Raton, 2005. 520 p.
10. Marsh, H., Rodríguez-Reinoso, F. Activated Carbon. Elsevier Science, Oxford, 2006. 554 p.
11. Breck, D.W. Seolite Molecular Sieves. John Wiley & Sons, New York, 1974. 771 p.
12. Weitkamp, J., Puppe, L. Catalysis and Seolites. Springer, Berlin, 1999. 564 p.

ISSN 3030-3907

13. Ackley, M.W., Rege, S.U., Saxena, H. Application of natural seolites in the purification and separation of gases // Microporous and Mesoporous Materials. 2003. Vol. 61. P. 25–42.
14. Adizova X. R. S. Sorbentlarning sorbsion xossasiga faollanuvchi gillarning ranglari va o‘lchamlarini ta‘siri //«Acta Nuuz». – 2025. – T. 3. – №. 3.1. – C. 295-297.
15. Bergna, H.E. The Colloid Chemistry of Silica. American Chemical Society, Washington, 1994. 694 p.
16. Saha, S., Wang, J.M., Pal, A. Sodium impregnation of granular activated alumina // Journal of Hazardous Materials. 2012. Vol. 201. P. 49–57.
17. Helfferich, F. Ion Exchange. McGraw-Hill, New York, 1962. 624 p.
18. Streat, M., Naden, D. Ion Exchange and Sorption Processes in Hydrometallurgy. John Wiley & Sons, 1987. 384 p.
19. Sherrington, D.C. Preparation, structure and morphology of polymer supports // Chemical Society Reviews. 2001. Vol. 30. P. 183–209.
20. Vasapollo, G. et al. Molecularly imprinted polymers: present and future prospective // International Journal of Molecular Sciences. 2011. Vol. 12(9). P. 5908–5945.
21. Volesky, B. Sorption and Biosorption. BV-Sorbex, Inc., Montreal, 2003. 316 p.
22. Davis, T.A., Volesky, B., Mucci, A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae // Water Research. 2003. Vol. 37(18). P. 4311–4330.
23. Kohl, A.L., Nielsen, R.B. Gas Purification. Gulf Publishing Company, Houston, 1997. 1395 p.
24. Speight, J.G. Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes. Gulf Professional Publishing, Burlington, 2011. 625 p.
25. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th Ed. McGraw-Hill, 2014. 2048 p.
26. Kulprathipanja, S. Seolites in Industrial Separation and Catalysis. Wiley-VCH, Weinheim, 2010. 662 p.
27. Clarke, M.A. Sugar: A User's Guide to Sucrose. Van Nostrand Reinhold, New York, 1993. 358 p.
28. Ahmaruzzaman, M. Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for treatment of wastewater // Advances in Colloid and Interface Science. 2011. Vol. 166. P. 36–59.
29. Mimura, H. et al. Ion exchange selectivity of seolite A for cesium and strontium ions // Journal of Nuclear Science and Technology. 2001. Vol. 38(10). P. 872–878.

ISSN 3030-3907

30. Zhao, G. et al. Graphene oxide as a sorbent for extraction of metal ions // Analytica Chimica Acta. 2011. Vol. 708. P. 1–14.
31. Furukawa, H. et al. The chemistry and applications of metal-organic frameworks // Science. 2013. Vol. 341(6149). P. 1230444.
32. Bandura, L. et al. Composite seolite-activated carbon sorbents // Microporous and Mesoporous Materials. 2016. Vol. 223. P. 1–11.
33. Sanz-Pérez, E.S. et al. Direct capture of CO_2 from ambient air // Chemical Reviews. 2016. Vol. 116(19). P. 11840–11876.
34. Foo, K.Y., Hameed, B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems // Chemical Engineering Journal. 2010. Vol. 156(1). P. 2–10.
35. Weber, T.W., Chakravorti, R.K. Pore and solid diffusion models for fixed-bed adsorbers // AIChE Journal. 1974. Vol. 20(2). P. 228–238.
36. Freundlich, H. Over the adsorption in solution // Journal of Physical Chemistry. 1906. Vol. 57. P. 385–470.
37. Dubinin, M.M., Radushkevich, L.V. The equation of the characteristic curve of activated charcoal // Proceedings of the USSR Academy of Sciences. 1947. Vol. 55. P. 331–337.

ISSN 3030-3907