ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 5

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

NEFT SANOATI CHIQINDILARI ASOSIDA KOMPOZIT SORBENTLAR OLISH TEXNOLOGIYASI VA ADSORBSION XOSSALARI

Turdiyev J.Q.
Qarshi davlat texnika universiteti,
Panjiyev U.R.
Qarshi xalqaro universiteti
Quyboqarov O.E.
Qarshi davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Maqolada neft sanoati chiqindilari — neft shlamlari, sarflangan FCC/RFCC katalizatorlari va gidrogenizatsiya katalizatorlari — asosida kompozit sorbentlar olishning ilmiy hamda texnologik asoslari tahlil qilindi. Adabiyotlar ko‘rsatishicha, bunday chiqindilar uglerodli, alumosilikatli va metall-oksidli fazalarni bir vaqtning o‘zida saqlaydi, shu bois ular arzon va funksional adsorbentlar uchun istiqbolli ikkilamchi xomashyo hisoblanadi [1–5, 7]. Maqolada xomashyoni tayyorlash, piroliz yoki gidrotermal ishlov, kimyoviy aktivatsiya, kompozitlash, granulyatsiya va fizik-kimyoviy tavsiflash bosqichlarini o‘z ichiga olgan texnologik sxema taklif etildi. Adsorbsion mexanizmlar sifatida ion almashinish, elektrostatik tortishish, sirt komplekslanishi, g‘ovaklarda ushlanish va gidrofob o‘zaro ta’sirlar ko‘rib chiqildi. RFCC adsorbenti uchun 120 mg/g Cu(II) sig‘im, SFCC-A materiali uchun 180,5 mg/g Co^{2+} sig‘im va neft shlami asosidagi biochar uchun 229 mg/g adsorbsion natijalar qayd etilgani tahlil qilindi [2–4]. Olingan umumlashmalar neft sanoati chiqindilarini ekologik muammo emas, balki suv va gaz oqimlarini tozalash uchun qiymatli sorbent xomashyosi sifatida ko‘rish zarurligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: neft sanoati chiqindilari, neft shlami, spent FCC, kompozit sorbent, adsorbsiya, aktivatsiya, piroliz, og‘ir metall ionlari.

Аннотация. В статье проанализированы научные и технологические основы получения композитных сорбентов из отходов нефтяной промышленности, включая нефтешламы, отработанные FCC/RFCC-катализаторы и катализаторы гидрогенизации. Показано, что такие отходы содержат углеродистые, алюмосиликатные и оксидные компоненты, пригодные для получения эффективных сорбентов [1–5, 7]. Рассмотрены стадии подготовки сырья, пиролиза или гидротермальной обработки, химической активации, композитирования и гранулирования. Обсуждены механизмы адсорбции загрязнителей и приведены опубликованные результаты по емкости и эффективности удаления металлов и нефтесодержащих загрязнений [2–4].

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: отходы нефтяной промышленности, нефтешлам, отработанный FCC-катализатор, композитный сорбент, адсорбция.

Abstract. The paper analyzes the scientific and technological basis for producing composite sorbents from petroleum industry wastes, including oily sludge, spent FCC/RFCC catalysts and spent hydrogenation catalysts. The reviewed studies show that these wastes contain carbonaceous, aluminosilicate and metal-oxide phases and therefore can be transformed into low-cost functional adsorbents [1–5, 7]. A technological route involving pretreatment, pyrolysis or hydrothermal treatment, chemical activation, composite formation, granulation and physicochemical characterization is proposed. Adsorption mechanisms and representative literature results are discussed to justify the feasibility of such materials for water and gas purification.

Keywords: petroleum industry waste, oily sludge, spent FCC catalyst, composite sorbent, adsorption.

KIRISH.

Neft sanoatida qazib olish, tashish, saqlash va qayta ishlash bosqichlarida neft shlamlari, sarflangan katalizatorlar, filtrlash qoldiqlari va turli mineral-organik chiqindilar hosil bo‘ladi. Oily sludge bo‘yicha sharhlar bunday chiqindining odatda suv, neft fraksiyasi va qattiq mineral zarrachalardan iborat murakkab tizim ekanini, tarkibida toksik uglevodorodlar hamda muhitga zarar yetkazuvchi komponentlar bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi [7]. Shu bilan birga, aynan shu murakkab tarkib uglerodli karkas, kul fazasi va mineral skeletni bir materialda birlashtirgani sababli bunday chiqindini sorbent prekursoriga aylantirish imkonini ham beradi.

Spent gidrogenizatsiya katalizatorlari esa ko‘p hollarda Mo, V, Co, Ni va Al_2O_3 tashuvchilardan tashkil topadi. Ularni noto‘g‘ri utilizatsiya qilish ekologik xavf tug‘dirsa-da, to‘g‘ri qayta ishlash jarayonida ular qimmatli ikkilamchi resurs sifatida ishlatilishi mumkin [5]. Sarflangan FCC/RFCC katalizatorlari tarkibidagi alumosilikat skelet, ion almashinish xossalari va zeolitga yaqin tuzilma xususiyatlari ularni adsorbent yoki kompozit mineral matritsa sifatida qo‘llash imkonini beradi [2, 3].

So‘nggi yillarda “waste-to-resource” yondashuvi doirasida sanoat chiqindilaridan adsorbentlar tayyorlash keng rivojlanmoqda. Umumlashtiruvchi sharhlar modifikatsiya usullari — termik ishlov, kislotali yoki ishqoriy aktivatsiya, gidrotermal qayta ishlash va sirt funksionallashtirish — chiqindi asosidagi materiallarning adsorbsion sig‘imini keskin oshirishini ko‘rsatadi [1]. Shu nuqtai nazardan neft sanoati chiqindilaridan kompozit sorbentlar olish bir vaqtning o‘zida chiqindini kamaytirish, resursdan takror foydalanish va tozalash texnologiyalari samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Mazkur maqolaning мақсади — neft sanoati chiqindilaridan kompozit sorbentlar olishning ilmiy va texnologik asoslarini tizimlashtirish, adabiyotlarda qayd etilgan asosiy natijalarni tahlil qilish, shuningdek OAK talablariga mos ilmiy maqola shaklida tavsiya etiladigan texnologik sxema va muhokama modelini taqdim etishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Sanoat chiqindilariga asoslangan adsorbentlar bo‘yicha 2025-yildagi keng qamrovli sharh modifikatsiya usullari va adsorbsion mexanizmlar orasidagi bog‘liqlikni tizimli ravishda ko‘rsatadi. Ushbu manbada chiqindi asosidagi adsorbentlarning sirt maydoni, g‘ovak tuzilmasi, funksional guruhlari va iqtisodiy samaradorligi adsorbsiya natijasini belgilovchi bosh omillar sifatida talqin qilingan [1]. Mazkur yondashuv neft sanoati chiqindilariga ham to‘liq tatbiq etiladi, chunki bunday chiqindilar turli fizik-kimyoviy modifikatsiya usullariga sezgir bo‘lgan ko‘p komponentli tizimlardir.

RFCC chiqindisini adsorbentga aylantirishga bag‘ishlangan tadqiqotda sarflangan katalizator avval yuvilib, so‘ng 100 °C da 24 soat gidrotermal ishlovdan o‘tkazilgan va XRD, FT-IR, XPS, BET, SEM usullari bilan tavsiflangan [2]. Natijada olingan RFCC-A materiali 81,77 m^2/g sirt maydoniga ega bo‘lib, pH 4 sharoitida 1 soatda 120 mg/g Cu(II) ni adsorbsiya qilgan; umumiy life-time capacity esa 831,68 mg/g ga yetgan [2]. Bu natijalar ion almashinish va elektrostatik tortishish alumosilikatli chiqindilar asosidagi sorbentlar uchun juda muhim mexanizmlar ekanini ko‘rsatadi.

Spent FCC katalizatoridan zeolit A sinteziga bag‘ishlangan 2024-yilgi ishda yumshoq, ekologik faollashtirish yo‘li bilan SFCC-A materiali olingan va u Co^{2+} ionlari uchun yuqori sorbsiya xossalarini namoyish qilgan [3]. Mazkur tadqiqotda 180,5 mg/g adsorbsion sig‘im qayd etilgan va jarayon laboratoriya sharoitidan 100 L pilot masshtabga ko‘chirilganda ham mahsulot sifatining saqlanib qolishi ko‘rsatilgan [3]. Bu esa spent FCC chiqindilarini bevosita sorbentga yoki zeolit tipidagi kompozitga aylantirish texnologiyasi amaliy ahamiyatga ega ekanini bildiradi.

Neft shlami asosidagi adsorbentlar bo‘yicha tadqiqotlar ko‘p hollarda piroliz va ko-pirolizning ustunligini ko‘rsatadi. Oily sludge va bug‘doy somonini bir bosqichli ko-piroliz qilishga bag‘ishlangan ishda 600 °C, 100 min, 15 °C/min va 100 mL/min N_2 oqimi optimal sharoit sifatida topilgan; shu sharoitda olingan biochar 229 mg/g adsorbsion sig‘im ko‘rsatgan va uch marta qayta foydalanilgach ham 49,07 % regeneratsiya samaradorligini saqlab qolgan [4]. Bu holat neft shlamining biomassa bilan birgalikda qayta ishlanishi g‘ovak uglerod skeletini sezilarli yaxshilashini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Sarflangan gidrogenizatsiya katalizatorlari bo‘yicha sharhlarda Mo, V, Co, Ni va Al_2O_3 tarkibli chiqindilarni qayta ishlash texnologiyalari tahlil qilinadi hamda bunday materiallar qimmatli ikkilamchi xomashyo sifatida tavsiflanadi [5]. Boshqa tomondan, fly ash bilan modifikatsiyalangan sludge-asosli aktivlangan materiallar Cu^{2+} va Cd^{2+} ni mos ravishda 99,6 % va 99,7 % gacha olib tashlagani qayd etilgan [6]. Demak, neft chiqindilarini boshqa mineral komponentlar bilan kompozitlash ularning adsorbsion xossalarini kuchaytiradigan muhim yo‘nalish hisoblanadi.

1-Jadval.

Neft sanoati chiqindilarining kompozit sorbent sintezidagi funksional roli

Chiqindi turi	Asosiy tarkibiy xususiyat	Texnologik afzalligi	Cheklov / xavf
Neft shlami	Suv + neft fraksiyasi + qattiq zarrachalar	Uglerodli char olish, g‘ovak tuzilma hosil qilish	Toksik organiklar va yuqori namlik
Sarflangan RFCC/FCC katalizatori	Alumosilikat skelet, metall qoldiqlar	Zeolitga o‘xshash sorbent yoki mineral matritsa olish	Ni, V kabi metallar mavjudligi
Sarflangan gidrogenizatsiya katalizatori	Mo, V, Co, Ni, Al_2O_3	Metall qaytarib olish yoki oksidli-kompozitga aylantirish	Xavfli chiqindi toifasi
Aralash mineral-organik qoldiq	Uglerod + kul + oksidli faza	Kompozitlash orqali mexanik mustahkam sorbent	Tarkibning o‘zgaruvchanligi

Materiallar va metodik yondashuv

Maqolada neft sanoati chiqindilarini kompozit sorbentga aylantirish bo‘yicha analitik-sintez yondashuvi qo‘llanildi. Bunda neft shlami, sarflangan FCC/RFCC va sarflangan gidrogenizatsiya katalizatorlari asosiy prekursor sifatida ko‘rib chiqildi. Tavsiya etilgan texnologik sxema bir nechta manbalardagi muvaffaqiyatli elementlarning integratsiyasi sifatida tuzildi [1–5].

Kompozit sorbent tayyorlashda xomashyoni dastlabki saralash, namlikni kamaytirish, maydalash va zaruratga ko‘ra deoilatsiya bosqichlari muhim. Keyingi bosqichda neft shlami uchun piroliz yoki ko-piroliz, katalitik chiqindilar uchun esa

ISSN 3030-3907

gidrotermal ishlov, yuvish va yumshoq aktivatsiya maqsadga muvofiq hisoblanadi [2–4]. Termik yoki gidrotermal qayta ishlash natijasida chiqindi matritsasida g‘ovaklar paydo bo‘ladi, sirt maydoni ortadi va faol markazlar shakllanadi.

Adsorbsion sig‘imni baholash uchun amaliyotda keng qo‘llanadigan tenglama quyidagicha yoziladi: $q_e = ((C_0 – C_e)V)/m$. Bu yerda q_e — adsorbsion sig‘im, mg/g; C_0 va C_e — mos ravishda boshlang‘ich va muvozanat konsentratsiyalari; V — eritma hajmi; m — sorbent massasi [6]. Olib tashlash samaradorligi $\eta = ((C_0 – C_e)/C_0)\times100$ formulasi yordamida hisoblanadi. Mazkur ko‘rsatkichlar turli chiqindi asosidagi sorbentlarni qiyosiy baholashda qulay mezon hisoblanadi.

Tavsiflash uchun XRD, FTIR, SEM, BET, zaruratga qarab XPS va TG/DTA usullari tavsiya etiladi. XRD fazaviy tarkibni, FTIR funksional guruhlarni, BET sirt maydoni va g‘ovak hajmini, SEM esa zarracha morfologiyasini aniqlash imkonini beradi [2, 3, 6]. Aynan shu usullar chiqindi asosidagi sorbentning struktur-funksional holatini ishonchli baholash uchun zarurdir.

Amaliy qo‘llash nuqtai nazaridan bunday sorbentlar statik stakan-sinovlardan tashqari dinamik kolonna rejimida ham baholanishi kerak. Chunki real oqava suv va gaz oqimlarida adsorbentning haqiqiy samaradorligi faqat muvozanat sig‘imi bilan emas, balki massa almashinish tezligi, qatlam bo‘ylab bosim tushishi, granulaning mustahkamligi va ko‘p siklli regeneratsiya barqarorligi bilan ham aniqlanadi. Shuning uchun texnologik sxemaga regeneratsiya bosqichini integratsiyalash kelgusidagi tajriba ishlarining muhim yo‘nalishi bo‘lib xizmat qiladi.

Texnologik nuqtai nazardan kompozit sorbent tayyorlashda zarracha o‘lchami, namlik darajasi va aktivatsiya reagentining konsentratsiyasi eng sezgir parametrlar hisoblanadi. Mayda dispers xomashyo termik ishlov vaqtida bir xil qizdiriladi va g‘ovaklar rivojlanishini tezlashtiradi, biroq haddan tashqari maydalash granulyatsiya bosqichida mexanik mustahkamlikni pasaytirishi mumkin. Shu sababli laboratoriya amaliyotida fraksion saralash, namlikni standartlash va aktivatsiyadan keyingi neytrallash rejimlari bir xil saqlanishi maqsadga muvofiq.

ISSN 3030-3907



1-Rasm Neft sanoati chiqindilaridan kompozit sorbent olishning tavsiya etiladigan texnologik qurulmasi

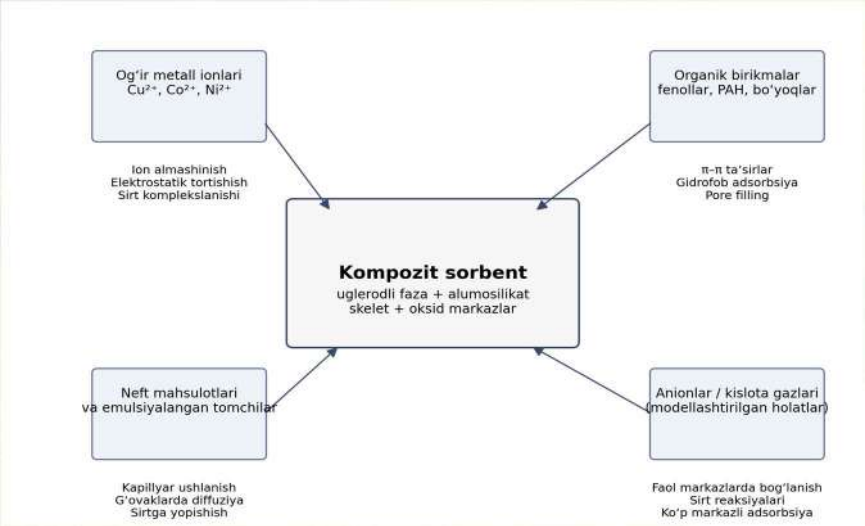
NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Adabiyotlar va texnologik tahlil shuni ko‘rsatadiki, neft sanoati chiqindilariga asoslangan sorbentlarning samaradorligini uchta asosiy omil belgilaydi: (i) uglerodli fazaning rivojlanish darajasi, (ii) mineral yoki alumosilikat skeletning saqlanishi yoki qayta tuzilishi, (iii) sirt funksional guruhlarining maqsadli boshqarilishi [1–4, 6]. Neft shlami pirolizlanganda uglerodli karkas hosil bo‘ladi; FCC/RFCC chiqindilarida esa ion almashinishga moyil alumosilikat markazlar shakllanadi yoki saqlanadi.

Shu nuqtai nazardan kompozit sorbentning tavsiya etiladigan modeli quyidagicha talqin qilinadi: uglerodli baza sifatida neft shlami piroliz char’i; mineral skelet sifatida spent FCC yoki RFCC qoldig‘i; bog‘lovchi va struktur beruvchi qo‘shimcha sifatida bentonit, kaolin yoki kul fazasi; aktivlovchi modul sifatida kislota yoki ishqor bilan ishlov; yakuniy shakl sifatida esa granula yoki pellet [1–6]. Bunday yondashuv organik moddalar va metall ionlarini bir sorbentda samarali ushlash imkonini beradi.

Og‘ir metall ionlari uchun asosiy mexanizmlar ion almashinish, elektrostatik tortishish va sirt komplekslanishi bilan izohlanadi. Organik moddalar va neft tomchilari uchun esa g‘ovaklarda ushlanish, gidrofob ta’sir, π–π o‘zaro ta’sirlar va kapillyar kondensatsiya ustun rol o‘ynaydi [2, 3, 6, 8]. Shu sababli kompozit sorbent bir vaqtning o‘zida ko‘p markazli adsorbsion xatti-harakat namoyon etishi mumkin.

ISSN 3030-3907

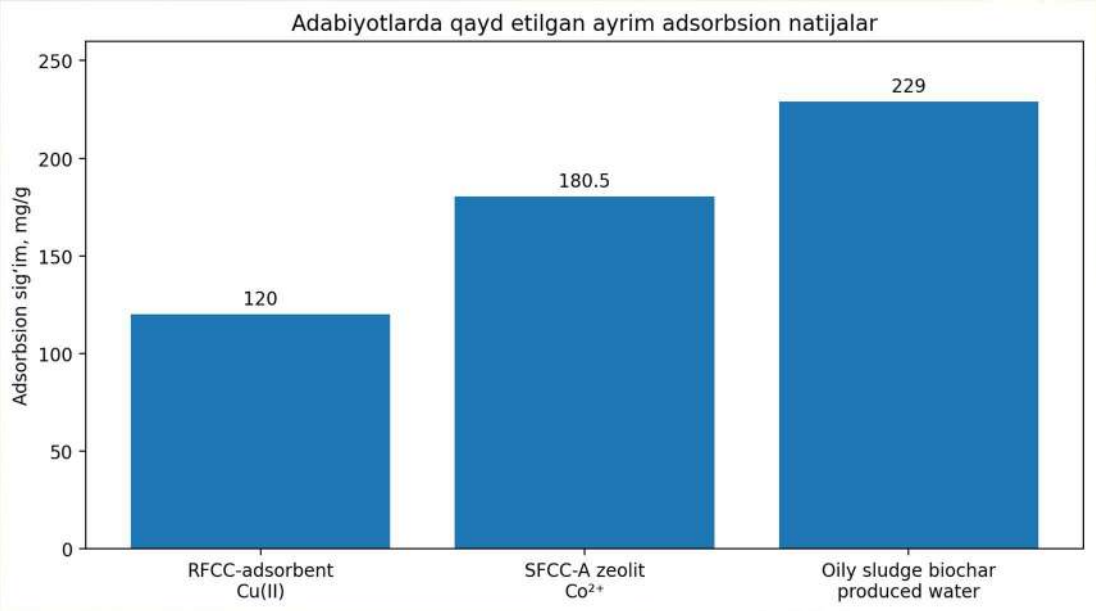


2-Rasm. Kompozit sorbentdagi asosiy adsorbsion mexanizmlar sxemasi

2-Jadval.

Material / manba	**Tayyorlash usuli**	**Maqsadli ifloslantiruvchi**	**Asosiy natija**
RFCC-A adsorbent [2]	Yuvish + gidrotermal ishlov	Cu(II)	120 mg/g; life-time capacity 831,68 mg/g
SFCC-A zeolit A [3]	Yumshoq aktivatsiya + zeolit sintezi	Co^{2+}	≈99 % olib tashlash; 180,5 mg/g
Oily sludge biochar [4]	Bir bosqichli ko-piroliz	Produced water	229 mg/g adsorbsion sig'im
Sludge + fly ash adsorbent [6]	Aktivatsiya + karbonlash	Cu^{2+}, Cd^{2+}	99,6 % va 99,7 % olib tashlash

ISSN 3030-3907



3-Rasm. Adabiyotlarda qayd etilgan ayrim adsorbsion sig‘imlar taqqoslanishi

Jadval 2 va Rasm 3 dan ko‘rinadiki, neft sanoati chiqindilari asosidagi materiallar faqat nazariy jihatdan emas, balki amaliy natijalar bo‘yicha ham raqobatbardoshdir. Ayniqsa, spent katalizatorlardan tayyorlangan sorbentlarda mineral skeletning qayta tashkil topishi va ion almashinish markazlarining ko‘pligi katta rol o‘ynaydi [2, 3]. Neft shlami asosidagi biocharlarda esa g‘ovak uglerod karkasi va ko-piroliz natijasida paydo bo‘ladigan qo‘shimcha funksional guruhlar adsorbsion xossalarni kuchaytiradi [4].

Shuningdek, chiqindi asosidagi sorbentlarning qayta foydalanish va regeneratsiya jihati ham muhimdir. RFCC asosidagi material ikki marta regeneratsiya qilingan holda ham ishlatilgani, neft shlami biochari esa uchta sikldan so‘ng ham ma’lum darajada samaradorligini saqlagani qayd etilgan [2, 4]. Reused adsorbents bo‘yicha sharh ham regeneratsiya va ikkilamchi foydalanish chiqindi hajmini kamaytirish bilan birga ekologik va iqtisodiy afzalliklar berishini ta’kidlaydi [8].

Amaliy jihatdan bunday sorbentlarni oqava suvlarni og‘ir metallardan, neftli emulsiyalardan va ayrim organik ifloslantiruvchilardan tozalash uchun qo‘llash maqsadga muvofiqdir. Kelajakdagi tajribalarda granulaning mexanik mustahkamligi, dinamik kolonna rejimi, bosim tushishi, regeneratsiya agentlari va ko‘p siklli barqarorlik alohida o‘rganilishi lozim. Aynan shu ko‘rsatkichlar laboratoriya miqyosidagi natijalarni sanoat texnologiyasiga aylantirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘ladi.

XULOSA.

Xulosa qilib aytganda, neft sanoati chiqindilari asosida kompozit sorbentlar olish texnologiyasi ekologik va texnologik jihatdan istiqbolli yo‘nalish

ISSN 3030-3907

hisoblanadi. Neft shlami, sarflangan FCC/RFCC hamda boshqa katalitik va mineral-organik chiqindilar tarkibidagi uglerodli va alumosilikatli komponentlar asosida yuqori adsorbsion faollikka ega, arzon va mahalliy xomashyo bazasiga tayanuvchi sorbentlar olish mumkin. Taklif etilgan texnologik yondashuv chiqindilarni ikkilamchi resurs sifatida qayta ishlash, atrof-muhitga tushadigan yuklamani kamaytirish hamda suv va gaz muhitlarini tozalash samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Shu bois neft sanoati chiqindilaridan kompozit sorbentlar tayyorlash nafaqat ilmiy-amaliy ahamiyatga, balki iqtisodiy va ekologik samaradorlikka ham ega bo‘lgan muhim innovatsion yo‘nalish sifatida baholanishi mumkin.Foydalanilgan adabiyotlar

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Liu G., Li Y., Hou J., Wang Y., Lin D. A review on the industrial waste based adsorbents for the removal of pollutants from water: Modification methods and adsorption study // Resources, Environment and Sustainability. 2025. Vol. 19. Art. 100183.

2. Chen Y.-C., Yang W.-X. et al. Recycling of a spent residue-fluid-catalytic cracking catalyst into an adsorbent for the removal of copper(II) ions from wastewater // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2024. Vol. 12. Art. 114566. DOI: 10.1016/j.jece.2024.114566.

3. Wang B. et al. Mild activation of spent fluid catalytic cracking (FCC) catalysts for the pilot synthesis of zeolite A with commercial quality and excellent Co2+ removal ability // Chemical Engineering Journal. 2024.

4. Chen S., Zhang L., Shen Z., Sun Y.-k. Co-pyrolysis of oily sludge and wheat straw to prepare oilfield produced water biochar adsorbent // Desalination and Water Treatment. 2025. Vol. 323. Art. 101344. DOI: 10.1016/j.dwt.2025.101344.

5. Zhao L. et al. Recovery technology of spent hydrogenation catalysts – A review // Science of the Total Environment. 2024.

6. Mao L. et al. Adsorption Potential and Mechanism of Sludge-Based Activated Carbon Modified with Fly Ash for Removal of Heavy Metals // Sustainability. 2024. Vol. 16(7). Art. 2972.

7. Hui K., Tang J., Lu H., Xi B., Qu C., Li J. Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review // Arabian Journal of Chemistry. 2020. Vol. 13(8). P. 6523–6543. DOI: 10.1016/j.arabjc.2020.06.009.

8. Fouda-Mbanga B.G. et al. Advantages of the reuse of spent adsorbents and potential applications in environmental remediation: A review // Green Analytical Chemistry. 2024.

ISSN 3030-3907