

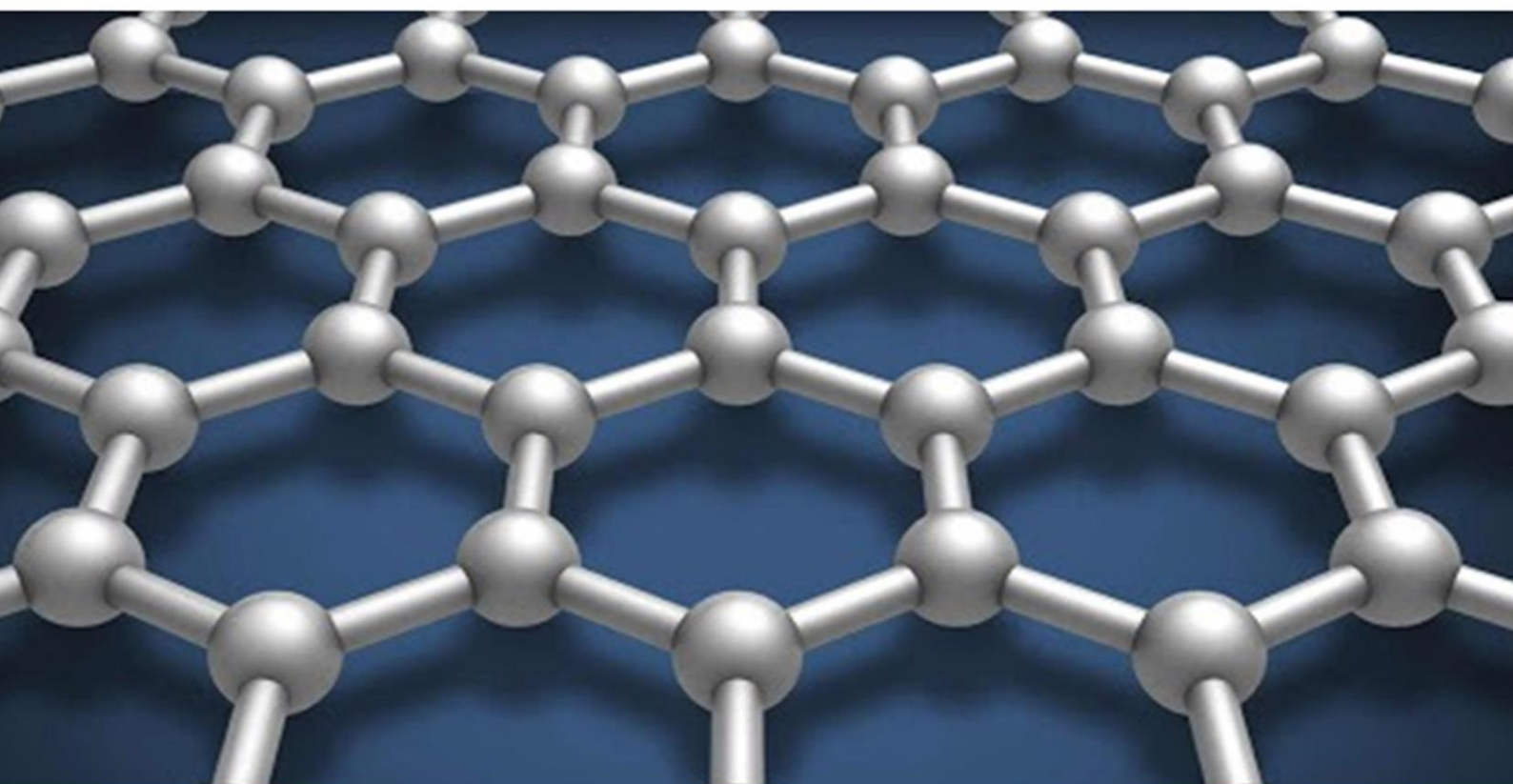
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

UDK 541.64:678.745.547.235

VERMIKULIT ASOSIDA OLINGAN KOMPOZISION MATERIALDA BENZOL VA SUV BUG'I ADSORBSIYASI

Maxkamov Bunyodjon G'anijonovich

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti

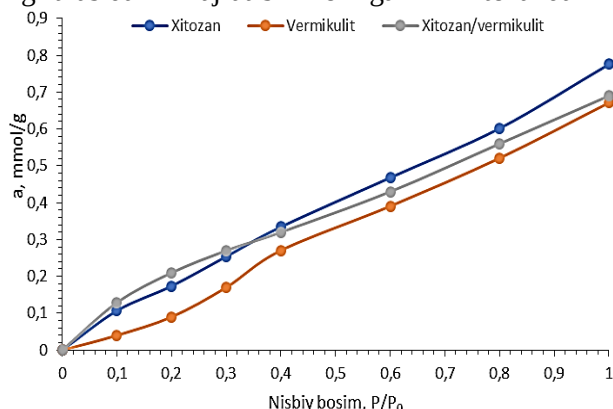
Annotatsiya. Tabiiy vermikuliti va *Calliptamus italicus* L dan ajratib olingan xitozan asosida vermikulit–xitozan (VMT–XT) kompozit adsorbenti sintez qilindi hamda uning benzol va suv bug'lariga nisbatan adsorbsion xossalari o'rganildi. Olingan izotermalar asosida BET hamda Dubinin–Radushkevich tenglamalari yordamida adsorbentlarning monoqavat sig'imi, solishtirma sirt maydoni, mikro- va mezog'ovaklar hajmi hisoblandi. Benzol bug'i adsorbsiyasida VMT–XT kompozitining monoqavat sig'imi 0,183 mmol/g ni, suv bug'i adsorbsiyasida esa BET sirt maydoni 131,82 m²/g va monoqavat sig'imi 2,028 mmol/g ni tashkil etdi.

Kalit so'zlar: vermikulit, xitozan, adsorbsiya, benzol bug'i, suv bug'i, BET usuli, solishtirma sirt maydoni, mikrog'ovaklar, mezog'ovaklar.

Kirish. Sanoatning jadal rivojlanishi natijasida suv resurslarining og'ir metall ionlari bilan ifloslanishi global ekologik muammolardan biriga aylangan. Toksik metall ionlari va organik moddalarning suv muhitida to'planishi inson salomatligi hamda ekotizimlar uchun jiddiy xavf tug'diradi. Shu sababli og'ir metall ionlarini oqava suvlardan samarali ajratib olish uchun ekologik xavfsiz, yuqori sorbsion sig'imga ega va iqtisodiy jihatdan arzon sorbentlarni sintez qilish, bugungi kunda dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi[1].

So'nggi yillarda tabiiy minerallar va biopolimerlar asosida kompozit sorbentlar yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bunday materiallar sintetik ion almashinuvchi qatronlarga nisbatan ekologik xavfsizligi, qayta tiklanish imkoniyati, biologik parchalanishi hamda arzon xomashyodan olinishi bilan ajralib turadi. Xususan, qatlamli vermikulit yuqori kation almashinish sig'imi, rivojlangan g'ovak tuzilishi, katta solishtirma sirt maydoni va yaxshi termik barqarorligi bilan tavsiflanadi. Ushbu xususiyatlar vermikulitni og'ir metall ionlarini adsorbsiyalash uchun istiqbolli tabiiy sorbent sifatida qarash imkonini beradi [2-4].

Material va metodlar. Tadqiqotda O'zbekistonning Tebinbuloq konidan olingan tabiiy vermikulit hamda *Calliptamus italicus* L. chigirtkasidan ajratib olingan xitozandan

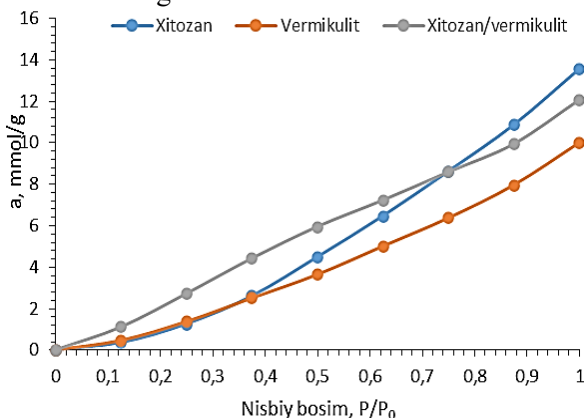


1-rasm. a) Xitozan-1, vermikulit -2, XT-VMT 3 larda benzol bug'i adsorbsiyasi izotermalari

foydalanildi. Kompozit uchun olingan xitozanning deatsetillanish darajasi 86±2 % ni, molekulyar massasi esa taxminan 355 kDa ni tashkil etadi. Vermikulit mexanik aralashmalardan tozalanib, quritildi va maydalangandan so'ng 100–250 mkm zarracha o'lchamigacha elandi. So'ngra u 105 °C haroratda 12 soat davomida quritildi. Kompozit sintezi uchun sirka kislotasi 1 % li eritmasi, natriy gidroksid (NaOH) 35 %, glutaraldegid (25 %), distillangan suvdan foydalanildi. Xitozan eritmasini tayyorlash uchun 2,0 g xitozan 100 ml 1 % sirka kislotasi eritmasiga qo'shib, magnitli aralashtirgichda xona haroratida 6 soat davomida aralashtirildi.

Vermikulit–xitozan kompozitini sintez qilish uchun oldindan tayyorlangan vermikulit kukuni xitozan eritmasiga asta-sekin qo'shib, 1:2 (massa nisbati) da shu bilan birgalikda 1 % glutaraldegid eritmasi tomchilab 60 °C da 4 soat davomida magnit aralashtirgich yordamida aralashtirildi. So'ngra aralashma NaOH ning 1 M eritmasiga tomchilab qo'shib kompozit granulari hosil qilindi. Granular distillangan suv bilan neytral pH hosil bo'lguncha yuvildi va 60 °C da 24 soat davomida quritildi.

Natija va tahlillar. Vermikulit, xitozan va ular asosida sintez qilingan polimer kompozitsion materiallarning benzol bug'iga nisbatan adsorbsion xossalari o'rganildi.



2-rasm. b) Xitozan-1, vermikulit -2, XT-VMT 3 suv bug'i adsorbsiyasi izotermasi

Buning uchun adsorbat sifatida benzoldan foydalanildi. Sorbsiya tajribalarini boshlashdan oldin benzol vakuum sharoitida tozalandi va quritildi. Benzolda erigan gazlarni to'liq chiqarib yuborish maqsadida u ketma-ket muzlatish-vakuumlash-qizdirish sikllari orqali degazatsiya qilindi. Ushbu jarayon benzolning bug' bosimi adabiyotlarda keltirilgan toza benzolning to'yingan bug' bosimi qiymatiga tenglashguncha davom ettirildi. Shundan so'ng tozalangan benzoldan adsorbsiya tajribalarida adsorbat sifatida foydalanildi. 1-a) rasmda ko'rinib turibdiki, barcha adsorbentlarda nisbiy bosim ortishi bilan benzol bug'ining adsorbsiya miqdori muntazam ravishda ortib borgan. Bu holat adsorbent sirtidagi faol markazlarning bosqichma-bosqich benzol molekullari bilan to'ldirilayotganligini ko'rsatadi. Past nisbiy bosimlarda ($P/P_0=0,1-0,3$) xitozan/vermikulit kompozitida adsorbsiya miqdori sof vermikulit va xitozanga nisbatan biroz yuqori kuzatiladi. Buni kompozit hosil bo'lishi natijasida qo'shimcha g'ovaklar va faol adsorbsiya markazlari yuzaga kelgani bilan izohlash mumkin. $P/P_0 \approx 0,4$

dan boshlab xitozan namunasi eng yuqori adsorbsiya qiymatlarini namoyon qiladi. Masalan, $P/P_0 = 1,0$ da: xitozan – taxminan 0,78 mmol/g; xitozan/vermikulit kompoziti – 0,69 mmol/g; vermikulit – 0,67 mmol/g adsorbsiya sig'imiga ega.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, $P/P_0 \approx 0,4$ dan boshlab sof xitozan benzol bug'iga nisbatan eng yuqori adsorbsion qobiliyatga ega. Bu xitozan zanjiridagi funksional guruhlar hamda uning rivojlangan amorf tuzilishi bilan bog'liq bo'lib, benzol molekullari bilan van-der-Vaals va boshqa molekullararo o'zaro ta'sirlarni kuchaytiradi [5].

Olingan izotermalar asosida BET tenglamasi yordamida adsorbentlar monoqavat sig'imi (α_m), solishtirma yuzalari (S) va to'yinish adsorbsiyasi (α_s) xisoblab topildi. VMT-XT ning solishtirma yuzasi va to'yinish xajmi yuqori bo'lishi kuzatildi. Adsorbentlarda benzol bug'i adsorbsiyasi: VMT da 0,114 mol/kg, XTda 0,175 mol/kg va XT-VMT da 0,1833 mol/kg adsorbentlarning monoqavat sig'imiga to'g'ri kelishi va VMT ga nisbatan XT-VMT ning monoqavat sig'imi 2 marta katta ekanligi aniqlandi (1-jadval).

1-jadval

**Vermikulit, xitozan va u asosida olingan sorbentlarda benzol bug'i adsorbsiyasi bo'yicha
struktura-sorbsion ko'rsatkichlari**

Namuna	$S_{BET}, m^2/g$	$a_m, mmol/g$	Mikro $V_a, sm^3/g$	Mezo $V_b, sm^3/g$	r, nm
VMT	27,45	0,114	0,041	0,02	4,33
XT	42,22	0,175	0,047	0,021	3,5
XT-VMT	43,99	0,183	0,044	0,020	2,75

Vermikulit kislota bilan faollashtirilganda uning tarkibidagi qo'shimcha (begona) mineral komponentlarning qisman ajralib chiqishi natijasida adsorbent qatlamlari orasida qo'shimcha g'ovaklar hosil bo'ladi. Adsorbentning g'ovak tuzilishi va ularning taqsimlanishi uning adsorbsion xossalarini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Olingan adsorbentlarda benzol bug'i adsorbsiyasi izotermalari asosida turli nisbiy bosimlarda (P/P_0) adsorbsiya hajmlari aniqlandi. Ushbu ma'lumotlar asosida $P/P_0 = 0,4$ da mikrog'ovaklar hajmi (W_0), mezog'ovaklar hajmi ($W_{me} = V_s - W_0$) hamda to'yingan holatdagi umumiy g'ovaklar hajmi (V_s) hisoblandi. Olingan natijalar yuqoridagi jadvalda keltirilgan.

Mikrog'ovaklarning to'yinish nazariyasi (Dubinin–Radushkevich) tenglamasi asosida olib borilgan hisob-kitoblar natijasida XT-VMT adsorbentining mikrog'ovaklar hajmi (W_0) dastlabki vermikulitnikiga nisbatan deyarli 5 baravar ortgani aniqlandi.

VMT va u asosida olingan sorbentlarda benzol bug'i adsorbsiyasi bilan birgalikda suv bug'i adsorbsiya xossalari ham aniqlandi.

2-b rasmdan ko'rinadiki, barcha namunalarda nisbiy bosim ortishi bilan adsorbsiya miqdori (a , mmol/g) muntazam ravishda ortib boradi. Bu holat

adsorbent sirtida suv molekullarining bosqichma-bosqich yig'ilishi va nisbiy bosim yuqori qiymatlarga yetganda kapillyar kondensatsiya jarayonining sodir bo'lishi bilan izohlanadi.

Past nisbiy bosimlar ($P/P_0 < 0,3$) da XT-VMT kompoziti eng yuqori adsorbsiya sig'imini namoyon qiladi. Bu kompozit tarkibida xitozan va vermikulitning funksional guruhlar o'zaro uyg'unlashishi natijasida suv molekullari bilan vodorod bog'lari hosil qiluvchi faol markazlar sonining ortganligini ko'rsatadi. Shuningdek, kompozitning rivojlangan g'ovak tuzilishi suv bug'larining dastlabki adsorbsiyasini osonlashtiradi.

Yuqori nisbiy bosimlarda ($P/P_0 > 0,8$) xitozan eng katta adsorbsiya sig'imiga ega bo'lib, $P/P_0 = 1$ da adsorbsiya miqdori taxminan 13,5 mmol/g ni tashkil etadi. VMT-XT kompozitida bu ko'rsatkich 12 mmol/g, vermikulitda esa 10 mmol/g atrofida kuzatiladi. Xitozanning yuqori nam yutish qobiliyati uning tarkibidagi ko'p sonli amin ($-NH_2$) va gidroksil ($-OH$) guruhlar bilan bog'liq bo'lib, ushbu guruhlar suv molekullari bilan kuchli vodorod bog'larini hosil qiladi.

Suv bug'i adsorbsiya izotermalari asosida VMT, XT va VMT-XT adsorbentlarining monoqavat sig'imi (α_m), mikrog'ovaklar hajmi (V_a), mezog'ovaklar hajmi (V_β), solishtirma sirt yuzasi

(BET) hamda g'ovaklarning o'rtacha radiusi (r) hisoblab topildi. Olingan natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadvaldan ko'rinadiki, VMT-XT kompoziti eng yuqori solishtirma sirt yuzasiga ega bo'lib, uning BET qiymati $131,82 \text{ m}^2/\text{g}$ ni tashkil etadi. Ushbu qiymat dastlabki VMT ($104,35 \text{ m}^2/\text{g}$) va sof xitozanga ($74,75 \text{ m}^2/\text{g}$) nisbatan yuqori bo'lib, kompozit hosil bo'lishi natijasida adsorbentning ichki yuzasi sezilarli darajada rivojlanganligini ko'rsatadi. Adsorbentlarning monoqavat adsorbsiya sig'imi (a_m) ham xuddi shu tendensiyani namoyon qiladi. VMT-XT uchun a_m **$2,028 \text{ mmol/g}$** bo'lib, VMT (**$1,605 \text{ mmol/g}$**) va XT (**$1,150 \text{ mmol/g}$**) ga nisbatan yuqori qiymatga ega. Bu kompozit tarkibida suv molekularining bog'lanishi uchun faol adsorbsion markazlar soni ortganligini ko'rsatadi.

Mikrog'ovaklar hajmi bo'yicha eng yuqori ko'rsatkich VMT-XT (**$0,158 \text{ sm}^3/\text{g}$**) va XT (**$0,151 \text{ sm}^3/\text{g}$**) namunalarida kuzatilgan bo'lib, ular VMT (**$0,098 \text{ sm}^3/\text{g}$**) dan sezilarli darajada katta. Bu natija

xitozan bilan modifikatsiyalash jarayonida mikrog'ovak tuzilishining rivojlanganligini hamda suv molekularining mikrog'ovaklarda samarali ushlanishini tasdiqlaydi.

Mezog'ovaklar hajmi esa aksincha, VMT (**$0,080 \text{ sm}^3/\text{g}$**) va XT (**$0,090 \text{ sm}^3/\text{g}$**) namunalarida VMT-XT (**$0,060 \text{ sm}^3/\text{g}$**) ga nisbatan yuqori bo'lgan. Bu holat kompozit hosil bo'lishi jarayonida mezog'ovaklarning bir qismi xitozan zanjirlari bilan qoplanishi yoki qisman to'ldirilishi natijasida ularning hajmi kamayganligi bilan izohlanishi mumkin.

G'ovaklarning o'rtacha radiusi ham adsorbentlarning tuzilishidagi o'zgarishlarni tasdiqlaydi. XT namunasida g'ovak radiusi **$6,53 \text{ nm}$** ni tashkil qilgan bo'lsa, VMT va VMT-XT uchun mos ravishda **$3,45 \text{ nm}$** va **$3,29 \text{ nm}$** ga teng bo'lgan. VMT-XT kompozitida g'ovak radiusining kichrayishi mikrog'ovaklar ulushining ortishi va g'ovak tuzilishining yanada ixchamlashganligini ko'rsatadi.

2-jadval.

X vermikulit, xitozan va u asosida olingan sorbentlarda benzol bug'i adsorbsiyasi bo'yicha struktur-sorbsion ko'rsatkichlari

Namuna	$S_{\text{BET}}, \text{m}^2/\text{g}$	$a_m, \text{mmol/g}$	Mikro $V_a, \text{sm}^3/\text{g}$	Mezo $V_b, \text{sm}^3/\text{g}$	r, nm
VMT	104,35	1,605	0,098	0,08	3,45
XT	74,75	1,150	0,151	0,09	6,53
XT-VMT	131,82	2,028	0,158	0,06	3,29

Adsorbentlarda benzol adsorbsiyasi va suv bug'i adsorbsiyasi natijalariga ko'ra ushbu adsorbentlarni turli sohalarida ishlatish mumkinligi, bu esa Respublikamizning adsorbentlarga bo'lgan talabini ma'lum darajada bartaraf etishga imkoniyat yaratadi.

Xulosa. Tabiiy vermikuliti va xitozan asosida sintez qilingan VMT-XT kompozit adsorbenti muvaffaqiyatli sintez qilindi. Kompozit materialning hosil bo'lishi natijasida adsorbentning g'ovak tuzilishi takomillashib, solishtirma sirt maydoni va faol adsorbsion markazlar soni ortgani aniqlandi. Benzol bug'i adsorbsiyasi bo'yicha VMT-XT kompoziti $0,183 \text{ mmol/g}$ monoqavat

sig'imiga ega bo'lib, bu ko'rsatkich vermikulitnikidan qariyb ikki baravar yuqori ekanligi kuzatildi. Suv bug'i adsorbsiyasida esa kompozitning BET sirt maydoni $131,82 \text{ m}^2/\text{g}$ ga, monoqavat adsorbsiya sig'imi esa $2,028 \text{ mmol/g}$ ga yetgani uning yuqori adsorbsion samaradorligini tasdiqladi. Shuningdek, mikrog'ovaklar hajmining sezilarli ortishi kompozitning ichki tuzilishi rivojlanganligini ko'rsatdi. Bu esa VMT-XT kompozitining organik bug'lar hamda suvni tozalash, gazlarni adsorbsiyalashda istiqbolli mahalliy adsorbent sifatida qo'llash mumkinligini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Jin, F., Liu, R., Pu, W., & Wen, C. (2014). Preparation and Properties of Polymer/ Vermiculite Hybrid Superabsorbent Reinforced by Fiber for Enhanced Oil Recovery. *Journal of Chemistry*, 2014, 2089-2097.
2. You, C., Yang, C., Tsai, W., Wu, S., & Su, C. (12-13 Nov. 2016). Preparation and characterization of epoxy/vermiculite nanocomposites. Paper presented at the 2016 International Conference on Advanced Materials for Science and Engineering (ICAMSE).
3. C. Ferronato1 B. Silva F. Costa T. Tavares. Vermiculite bio-barriers for Cu and Zn remediation: an ecofriendly approach for freshwater and sediments protection Int.J.Environ.Sci.Technol.(2016)13:1219–1228.
4. Maxkamov B.G'. Mahalliy xomashyodan sintez qilingan Pan/vermikulit kompozitining Cu(II), Ni(II) ionlari bilan sorbsiyasi. // *Kompozitsion Materiallar* . ISSN 2091-5527 № 3/2025. –P. 86-89.
5. S.U.Norbekova, Z.SH.Mustafoeva, B.G'.Maxkamov, F.A.Puloatova. Xitozan/vermikulit (XT-VMT) da Cu(II) ionlarining sorbsiyasi. "Fan va ishlab chiqarish sohalarida zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari integratsiyasi". 17-18-oktyabr 2025 yil. –P. 394-394.

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Негматова К.С. Технология флотационного обогащения медно-молибденовых руд с применением химических флотореагентов для извлечения медного концентрата	68
Xusenov A.Sh., Orazova Sh.Sh., Zokirov B.U., Kiyamova M.I., Raxmanberdiev G. Seritsin va inulin asosida kompozitsion plyonka olish va uning fizik-kimyoviy xossalarni o'rganish	72
Саидова Ш.З., Каттаев Н.Т., Колядин В.Г., Акбаров Х.И. Синтез и характеристика гранулированного тройного сополимера 1-винилимидазола, акрилонитрила и дивинилбензола	75
Maxkamov B.G'. Vermikulit asosida olingan kompozitsion materialda benzol va suv bug'i adsorbsiyasi	79
Эшанкулова Г.Р., Ахмадов У.А. Тургунов Ф.Ф., Хасанов А.С. Ер остида танлаб эритиш усули билан уран қазиб олишда ҳосил бўладиган маҳсулдор эритмалардаги водород сульфидни фаолсизлантиришнинг самарали усулини ишлаб чиқиш	82
Bakhromova I.A., Vokhidova N.R. Synthesis of iron-modified chitosan for the purification of hydrogen sulfide waste from the oil and gas industry	85
Туляганова В.С. Разработка и исследование свойств композиционных кордиеритовых электрокерамических материалов на основе местного и вторичного сырья	87
Tursunkulov O.M., Gulyamov B.B., Sobitov M.A., Abduqahhorov F.I., Toxtabayev E.R., Uzakbergenov N.J., Bozorov S.S., Khojiev Sh.G. Effect of methane flow rate on the Raman characteristics and spatial uniformity of CVD graphene grown on high-purity copper at 1020 °C	91
Davlatova Z.Z., Safarov A.R., Abdiyeva F.I., Ixtiyarova G.A. <i>Apis mellifera</i> xitozani asosida suyuq neft tarkibidagi molibden va reniyni ajratib olish texnologiyasi	94
Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О. Способы переработки золы от сжигания энергетических углей	97

4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов

Азимова Ш.А., Азимов Д.М. Перспективы вторичной переработки органических компонентов отходов щелочной очистки пирогаза	100
Sultanova N.S., Ismailova R.M., Ulliboboev A.M., Ismailov R.I. Tsellyuloza materiallarini olovga chidamli materiallarga aylantirish uchun vermikulit asosidagi olovga chidamli kompozitsiyaning tarkibini optimallashtirish	104
Шомуротов Ш.А., Содикова М.А., Абдурахмонов Ж.А., Ахмедов О.Р., Тураев А.С., Юлдашев Ж.М., Олимжонов Ж.У. Периодатное окисление декстрана и синтез оксимных производных путём нуклеофильного присоединения гидроксилamina	106
Razzoqov H.Q., Amonov M.R. Modifikatsiyalangan shofirkon bentoniti asosidagi kompozitsion sorbentlar va koagulyatsion tizimlar yordamida sanoat oqova suvlarini kompleks tozalash	110
Бозоров А.Н. Техногенные отходы предприятий металлургической отраслей и разработка технологии их переработки	112
Xokimov A.E., Eminov A.M., Kadirova Z.R., Xamdamova Sh.Sh. Sho'rsuv gilining mineralogik tarkibi va texnologik xususiyatlarini kompleks tadqiq etish	116
Nuriddinova G.A., Jalilov Sh.N. KMS va PAA ishtirokida melamin va gossipol bilan modifikatsiyalangan mochevina-formaldegid asosidagi yelimlovchi-bog'lovchining strukturaviy va termik xususiyatlari	120
Тулаганова М.А., Маткаримов С.Т. Сравнительная оценка технологических схем извлечения технического теллура из медьэлектролитных шламов	124
Шомуротов Ш.А., Ахмедов О.Р., Тураев А.С., Юлдашев Ж.М., Олимжонов Ж.У., Туляшева М.А., Тураева Х.К. Восстановление оксимных производных декстрана и получение аминированного полисахарида	127
Амонова Н.М., Темиров Ў.Ш., Жўраев И.И. Оқова сув чўкиндиларини компостлашда органик моддалар, азот ва гумус моддаларининг ўзгариши	131
Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О. Исследование процесса извлечения скандия из зольных техногенных отходов с применением ионообменного сорбента	133