



Ikromjon MAMADOLIYEV,
Toshkent Kimyo xalqaro universiteti Samarqand filiali v.b.dotsenti, PhD
E-mail: I.Mamadoliyev@kiut.uz
Aziza ABDIKAMALOVA,
O'z RFA Umumiy va noorganik kimyo k.i.x., k.f.d
Sherzod BAKHROV,
Toshkent Kimyo xalqaro universiteti Samarqand filiali v.b.dotsenti, PhD

SamDU biokimyo instituti dotsenti, k.f.n D.To'xtayev taqrizi asosida

MONTMORILLONIT GILLARI SORBSIYA XUSUSIYATINI YAXSHILASH UCHUN BOYITISH VA AKTIVLASH

Аннотация

Tanlangan gillarning kimyoviy va mineralogik tarkibini o'rganish maskur sorbentlik darajasini aniqlash maqsadida Navbahor konidagi (Navoiy viloyati) montmorillonit gillari o'rganildi. Ishda fizik-kimyoviy (rentgen nurlari difraksiyasi, termogravimetrik, spektral, mikroskopik) va (kalorimetrik, adsorbsion, past haroratli azot adsorbsiyasi) kolloid-kimyoviy tahlil usullaridan foydalanilgan. Ishqoriy va ishqoriy yer bentonitni $\text{Ca}+\text{Zn}+\text{Mn}$ va $\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Mn}$ eritmali bilan qayta ishlash, modifikatsiyalash anorganik ionlarga (Cu^{2+} ; PO_4^{3-}) nisbatan tekstur va suvli eritmalaridan neft mahsulotlariga, shuningdek gazsimon muhitdan suv va geksan molekulariga nisbatan ularning teksturali va adsorbsion faolligini aniqlash. Ishqoriy va ishqoriy-yer bentonitni modifikatsiyalash uchun yuzasida plyonka hosil qiluvchi eritmalarini sintez qilish usullari ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: Navbahor koni, Ishqoriy va ishqoriy yer bentonit, kalorimetrik, adsorbsion, past haroratli azot adsorbsiyasi, tekstur xususiyat, adsorbsion faollik.

ОБОГАЩЕНИЕ И АКТИВАЦИЯ ЖАБРОН МОНТМОРИЛЛОНИТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Аннотация

С целью изучения химического и минералогического состава выбранных глин и определения степени сорбционной активности были исследованы монтмориллонитовые глины месторождения Навбахор (Навийская область). В работе использованы физико-химические (рентгеноструктурный, термогравиметрический, спектральный, микроскопический) и коллоидно-химические (калориметрический, адсорбционный, низкотемпературная адсорбция азота) методы анализа. Обработка и модификация щелочных и щелочноземельных бентонитов растворами $\text{Ca}+\text{Zn}+\text{Mn}$ и $\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Mn}$ с целью определения их текстуры и адсорбционной активности по отношению к неорганическим ионам (Cu^{2+} ; PO_4^{3-}) и нефтепродуктам из водных растворов, а также молекулам воды и гексана из газообразных сред. Разработаны методы синтеза поверхностно-образующих растворов для модификации щелочных и щелочноземельных бентонитов

Ключевые слова: Рудник Навбахор, Щелочной и щелочноземельный бентонит, калориметрия, адсорбция, низкотемпературная адсорбция азота, текстурные свойства, адсорбционная активность.

ENRICHMENT AND ACTIVATION OF MONTMORILLONITE GILLS TO IMPROVE SORPTION PROPERTIES

Annotation

To study the chemical and mineralogical composition of the selected clays, montmorillonite clays from the Navbahor deposit (Navoi region) were studied in order to determine the degree of maskur sorbentivity. The work used physicochemical (X-ray diffraction, thermogravimetric, spectral, microscopic) and (calorimetric, adsorption, low-temperature nitrogen adsorption) colloidal-chemical analysis methods. Processing and modification of alkaline and alkaline earth bentonite with $\text{Ca}+\text{Zn}+\text{Mn}$ and $\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Mn}$ solutions, determination of their texture and adsorption activity with respect to inorganic ions (Cu^{2+} ; PO_4^{3-}) and aqueous solutions to petroleum products, as well as water and hexane molecules from a gaseous environment. Methods for synthesizing solutions that form a film on the surface were developed to modify alkaline and alkaline earth bentonite

Key words: Navbahor deposit, Alkali and alkaline earth bentonite, calorimetric, adsorption, low-temperature nitrogen adsorption, textural properties, adsorption activity.

Kirish. Bentonit gilmoyalari noyob xususiyatlari tufayli tabiiy minerallar orasida alohida o'rin tutadi va turli sohalarda keng qo'llaniladi Hozirgi vaqtda suvni tozalash eng ko'p tarqalgan jarayonlardan biriga aylangan, bu jarayonni yaxshilash masalalari ayniqsa eng dolzarb masala bo'lib qolmoqda. Suvlarni tozalash uchun eng ko'p turli tabiiy yoki sun'iy nouglerod sorbentlar keng ishlatiladi [1-3]. Biroq, ma'lum vazifalarni bajarish uchun ko'pincha boyitish yoki modifikatsiya orqali bentonitning dastlabki xususiyatlarini maqbullashtirish yoki o'zgartirish kerak bo'ladi[4]. Ushbu jarayonlar materialning strukturaviy, fizik-kimyoviy va sorbsion xususiyatlariga ta'sir qilishi mumkin, bu esa o'z navbatida uning turli xil maqsadlarda qo'llash uchun kerakligini belgilaydi[5]. Bentonitning modifikatsiyasi uning adsorbsion xususiyatlarini, kislotalar va ishqorlarga chidamliligini, termik barqarorligini va boshqa asosiy xususiyatlarini yaxshilashi mumkin[6,7]. Bunday yaxshilangan xususiyatlar modifikatsiya qilingan bentonitni suvni tozalash jarayonlarida, ifloslovchi moddalarni yo'qotishda, katalizda va boshqa tegishli sohalarda foydalanish uchun ideal materialga aylantiradi[8]. So'nggi paytlarda gil va gilli minerallarini, shu jumladan fizikaqiy, kimyoviy va termik konversiya qilishning ko'plab usullari ularning xavfli moddalarni suvdan adsorbsiyalash qobiliyatini oshirish

uchun taklif qilinmoqda. Tabiiy, boyitilgan, ustunli, faollashtirilgan yoki temir, alyuminiy va marganes oksidlari bilan qoplangan og'ir metallar va turli ifloslantiruvchi moddalarning adsorbsiyasi katta qiziqish uyg'otdi[9-11]. Shu bilan birga, temir, marganes va magniy oksidi (gidrat) qoplamalarining bentonitning xususiyatlariga ta'siri haqida etarli ma'lumotlar mavjud emas.

Adsorbentlarni qayta tayyorlash uchun bentonitni boyitish eng istiqbolli usullardan biri mexanik ajratish, namlash va kislotalaritmalari bilan ishlov berish usuli hisoblanadi[10].

Tadqiqot metodologiyasi. Avval, gilni yirik aralashmalar va boshqa ko'p uchraydigan ifloslantiruvchi moddalardan birlamchi tozalash va quritish shkaftida namlik to'liq yo'qolguncha $105 \pm 5^\circ\text{C}$ haroratda quritish o'tkazilgan. Keyin, maydalangan gilni distillangan suv bilan to'liq qoplashni ta'minlaydigan nisbatda quyildi. Olingan sistema gilning bo'kish jarayoni uchun 24 soat davomida qoldirildi. Keyin namunaga yetarli miqdorda suv quyildi (namunani hajmidan kamida 1:5) va 20 daqiqa davomida aralashtirildi. Aralashtirishdan 20 minut o'tgach, montmorillonitdan qum zarralarini ajratish uchun yuqori 10 santimetrlilik suspenziya qatlamidan dekantatsiya o'tkazildi. Bu qum kabi og'ir zarralarning tubiga cho'kishiga imkon beradi va yengil montmorillonit yuqori qatlamlarda qoladi. Boshqa sig'imda yig'ilgan yuqori qatlam cho'kadi va suvning yuqori tiniqlashgan qatlami to'kib tashlanadi, pastki qismida cho'kmada qoladi. Olingan cho'kmaga 10% li H_2SO_4 eritmasi 1:1 hajmiy nisbatida qo'shiladi va 2 soat davomida $40-50^\circ\text{C}$ da aralashtiriladi. Olingan sistema 2 soat davomida tindirilgandan so'ng, qattiq faza sentrifugalash orqali qattiq moddadan ajratiladi, bir necha marta yuviladi va $105 \pm 5^\circ\text{C}$ haroratda namlik to'liq yo'qolguncha quritiladi[13]. Ushbu usul montmorillonit bilan boyitilgan bentonitni minimal miqdordagi qumli aralashmalari bilan olish imkonini beradi.

Bentonitli gillarni modifikatsiyalash. Buning uchun 20 g boyitilgan bentonit suspenziyasi 400 sm³ distillangan suvda 1,5-2 soat davomida aralashtirib tayyorlandi. Keyin tuzlar aralashmasini saqlovchi 100 sm³ eritma olindi:

1. 0,541 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,406 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ va 0,198 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; bentonitli aralashmani qisqartma ko'rinishda FB (F-bu yerda Fe^{3+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} tuzlari asosida modifikatsiyalangan bentonit) deb olingan.

2. 0,438 g $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,488 g $\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ va 0,198 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

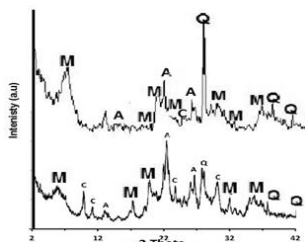
bentonitli aralashmani qisqartma ko'rinishda KB (K-bu yerda Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} tuzlari asosida modifikatsiyalangan bentonit) deb olingan.

Ushbu tajribani amalga oshirish uchun 0,001 g aniqlikda o'lchangan tuzlar 50 ml distillangan suvda eritildi va ular to'liq eriguncha yaxshilab aralashtirildi. Keyin ularning hajmi qo'shimcha suv qo'shib 100 sm³ gacha yetkazildi. Bu tuzlar eritmasi asta-sekin 0,5 m NaOH qo'shilishi bilan bir vaqtda faol aralashtirilgan suspenziyaga kiritildi, suspenziyaning pH qiymati esa 9-11 oralig'ida saqlandi.

Shundan so'ng, aralashmaning pH qiymati 10 ga yetkazildi va xona haroratida 6 soatga qoldirildi. Olingan cho'kma filtrlandi, Cl' yo'qolguncha distillangan suv bilan ko'p marta yuvildi va $105 \pm 1^\circ\text{C}$ haroratda quritish shkaftida saqlanib, 1,5-2 soat davomida termik ishlov berildi. Aslida, issiqlik bilan ishlov berish paytida kompozit faqat bog'langan suvni yo'qotdi, strukturadagi OH-guruhlar esa buzilmasdan qoldi va adsorbsiya markazlari sifatida ishtirok etish mumkin [11]. Tadqiqotning laboratoriyasi uchun muhim qayta ishlangan kompozit agat ohakida ezildi va 120 to'r yacheykalariga ega (o'lchami 125 mm dan kam zarralar) elakdan o'tkazildi.

Ishqoriy montmorillonit (B1) uchun farqli 2 θ difraksiya chizig'i taxminan $12,4^\circ$ qiymatlarida namoyon bo'ladi, bu taxminan 7,1 Å ga teng qatlamlararo masofaga to'g'ri keladi. Ishqoriy-yer montmorillonitida (B2) farqli difraksiya chizig'i 2 θ atrofida $8,9^\circ$ qiymatlarida paydo bo'ladi, bu taxminan 9,9 Å qatlamlararo masofaga to'g'ri keladi.

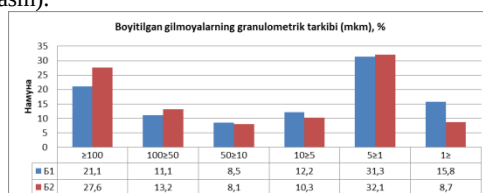
Kvars uchun asosiy difraksiya chiziqlaridan biri 2 θ taxminan $26,6^\circ$ da paydo bo'ladigan chiziqdir. Illit difraktogrammalardagi 2 θ taxminan $8,9^\circ$ da o'ziga xos difraksiya chizig'iga ega (taxminan 10 Å ga yaqin qatlamlararo masofasiga to'g'ri keladi). Biroq, bu qiymat illitning suv tarkibiga qarab biroz farq qilishi mumkin va B1 uchun $8,7^\circ$ ga kamayadi, B2 esa namunasi ($8,9^\circ$) bilan solishtirganda ko'p miqdordagi suv molekullari bilan bog'liq. B2 namunasi difraktogrammalari ham kalsit uchun 2 θ taxminan $29,4^\circ$ da va pirit uchun 2 θ taxminan $28,4^\circ$ da xarakterli difraksiya chiziqlarini ko'rsatadi. Gilli mineral 10 mkm dan kam bo'lgan zarralari bilan boyitilgan namunalar uchun difraktogrammalar past haroratli kvars reflekslarining intensivligini (0,428; 0,182; 0,154 nm) pasayishini va montmorillonit reflekslarining intensivligini (1,349; 1,253; 1,257; 0,173 nm) 2-4 baravar ko'payishini ko'rsatadi (1-rasm).



1-rasm. Boyitilgan namunalarning difraktogrammalari (yuqoridan pastga): 1) B2; 2) B1 (A – albit, M – montmorillonit, Q-kvars, S- klinoptilolit)

Boyitilgan namunalarda montmorillonit va klinoptilolit kabi sorbtion-faol minerallar mavjudligi haqida RFA asosida tasdiqlash mumkin.

Tahlil va natijalar. Mineralogik tarkibning o'zgarishi o'rganilayotgan namunalarning dispersligiga ta'sir qiladi. B1 va B2 o'lchamlari 8,2 mkm dan kam bo'lgan taxminan 8,2 va 3,1% fraksiyalar bilan tavsiflanadi, keyinchalik ularning boyitilgan shakllari disperslikni bir necha bor oshiradi (2-rasm).



2-rasm. Boyitilgan gilmoyalarning granulometrik tarkibi (%)

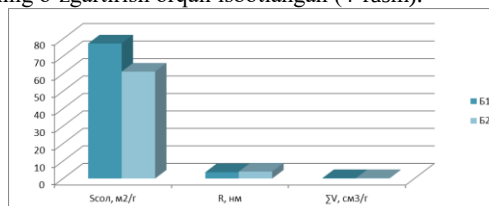
Gilmoyani boyitish natijasida dastlabki tarkib bilan nisbatan ikkala gilmoya namunalari (B1 va B2) uchun yirik zarrachalar (≥ 100 mkm va $100 \geq 50$ mkm) miqdori sezilarli pasayishi kuzatildi. Bu dekantatsiya jarayonida kattaroq qum zarralari va boshqa aralashmalarning samarali ajralishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Boyitishdan oldin va keyin namunalarning kimyoviy tarkibi to'g'risidagi taqdim etilgan ma'lumotlarga asoslanib shuni ta'kidlash mumkinki, boyitishdan keyin ikkala namunada ham SiO_2 konsentratsiyasi biroz pasayadi. Bu boyitish jarayonining aralashuvi SiO_2 ning yuqori miqdori saqllovchi kremnezemli aralashmalarni yoki boshqa minerallarni qisman yo'qotilganliginiko'rsatishim mumkin.



3-rasm. Boyitilgan bentonitlar namunalarning kimyoviy tarkibi, massa bo'yicha%

Shunday qilib, boyitish natijasida yuzaga keladigan kimyoviy tarkibdagi o'zgarishlar adsorbsion xususiyatlarini kuchaytirishi va bentonitli gillarining tekstur xususiyatlarini yaxshilashi mumkin, bu ularni turli xil qo'llanishlarda xususiyatlarini unumliroq qiladi, bu tekstur xossalarning o'zgartirish orqali isbotlangan (4-rasm).

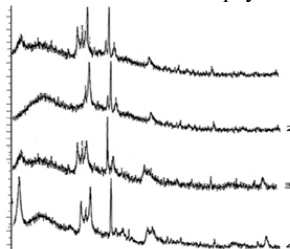


Namuna	S _{sol} , m ² /g	R, nm	ΣV, cm ³ /g
B1	77,3	3,61	0,221
B2	61,2	3,98	0,203

4-rasm. Boyitilgan bentonitlarning tekstur xususiyatlari.

B1 namunasining solishtirma sirt maydoni boyitishda 77,3 m²/g gacha oshdi (o'sish 21 m²/g yoki taxminan 37%), B2 uchun esa o'sish 18,5 m²/g yoki taxminan 43% ni tashkil qiladi. G'ovaklarning umumiy hajmining o'sishi ham kuzatiladi: B1 uchun u 0,19 dan 0,221 sm³/g gacha, namuna uchun esa 0,203 sm³/g gacha ko'tariladi.

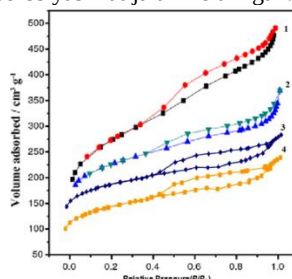
Modifikatsiyalangan bentonit gillarining tarkibiy xususiyatlarini o'rganildi. Bentonitni Fe(III), Mg va Mn(III) tuzlari bilan modifikatsiyasi qo'shimcha cho'qqilarning paydo bo'lishiga yoki qatlamlararo almashinuv va yoki montmorillonit tarkibida ushbu kationlarning mavjudligi tufayli mavjud cho'qqilarning intensivligi va holatining o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Rentgen difraksiyasini tahlil qilish natijalarida (2-rasm), Fe (III) oksidlariga xos bo'lgan cho'qqilar mos ravishda B1 va B2 asosida olingan FB1 va FB2 namunalari va Fe³⁺ tuzlari saqllovchi birinchi eritma uchun paydo bo'lishini ko'rish mumkin.



5-rasm. Namunalarning difraktogrammalari: 1) FB1; 2) FB2; 3) KB1; 4) KB2.

Dastlabki bentonitlar d001, d003, d020 va d200 cho'qqilarini 5,74; 17,30; 19,88 i 34,88 (2θ) da topiladi, ayni vaqtda 2 (KB1 va KB2) eritma bilan modifikatsiyalangan bentonitlar uchun bu cho'qqilar 6,90, 17,59; 20,01 va 35,01 (2θ) da joylashadi. FB1 va FB2 dan farqli o'laroq, KB1 va KB2 namunalari d100 va d101 (20,79 va 26,61) kvartslar difraksiyasi bilan bog'liq cho'qqilarning yuqori intensivligini ko'rsatadi va kristobalit va d101 tegishli difraksiyasi bilan bog'liq cho'qqi esa 21,79 da joylashadi. Montmorillonitning asosiy struktur o'zgarishlari d001 difraksiya cho'qqisining intensivligining pasayishi va uning yuqori 2θ burchaklarga siljishi bilan ifodalanadi, shuningdek, bu cho'qqining kengayishida, bu tartibsiz va qisman nochiqliq tuzilishli qatlamlararo masofaning bir jinsli emasligi haqida dalolat beradi.

Quyida o'rganilayotgan obyektlarda azot adsorbsiyasi natijalari keltirilgan.



5-rasm. Azot adsorbsiyasi izotermalari: 1) KB1; 2) KB2; 3) FB1; 4) FB2.

1-jadval.

Modifikatsiyalangan bentonitlarning tekstur xususiyatlari

Namuna	S_{oli} , m ² /g	R, nm	ΣV , sm ³ /g
FB1	120,588	3,282	0,332
FB2	95,472	3,618	0,305
KB1	146,097	3,008	0,354
KB2	115,668	3,317	0,325

Bu yuqori sirt faolligini va potensial ravishda yaxshiroq adsorbsiya qobiliyatini ko'rsatadi. KB1 namuna eng katta solishtirma sirt maydoniga ega (146,097 m²/g), bu B1 namuna bilan solishtirganda 89,2 % ga va B2 namuna bilan solishtirganda 138,5 % ga ko'proq. Modifikatsiya ko'pchilik namunalarda g'ovaklar hajmining pasayishiga olib keldi, bu bentonit tuzilishi zichligining oshishi haqida guvohlik berishi mumkin. Modifikatsiyalangan namunalar orasida KB1 eng kichik g'ovaklar hajmini (3,008 nm) ko'rsatdi, bu uning tuzilishini boshqa namunalarga nisbatan ixchamroq qiladi.

Xulosa va takliflar. Boyitish va modifikatsiya qilish jarayonlari bentonit gillarining struktur xususiyatlariga ta'sirini tahlili, boyitish va keyingi modifikatsiya natijasida bentonitli gillarining struktur o'zgarishlarini batafsil tadqiq qilish ishlari amalga oshiriladi. B1 va B2 bentonitlarining tarkibiy xususiyatlariga boyitish jarayonlarining ta'siri o'rganildi. Boyitish jarayoni namunalarning tekstur va fazaviy xususiyatlariga ta'sir ko'rsatdi, bu ularning funksional xususiyatlarini yaxshilashga imkon berdi. Modifikatsiyalangan bentonit gillarining strukturaviy xususiyatlarini o'rganish natijalari taqdim etildi. Rentgen fazaviy tahlil va azot adsorbsiyasi tufayli modifikatsiyalangan namunalarning funksional xususiyatlarini belgilaydigan asosiy struktur o'zgarishlar aniqlandi. Modifikatsiyagan namunalar, shuningdek, boyitilgan modifikatsiyalanmagan namunalarga nisbatan g'ovaklarning umumiy hajmining oshganligini ko'rsatdi. KB1-namuna eng katta g'ovak hajmini (0,354 sm³/g) ko'rsatdi, bu B1 namuna bilan solishtirganda 60,2 % ga ko'proq va B2 namuna bilan solishtirganda 74,4 % ga ko'proq.

Umuman olganda, bentonitlarning modifikatsiyasi tekstur xususiyatlarining yaxshilanishiga olib keldi, bu ularni faolroq qiladi va adsorbsiya, kataliz va boshqalar kabi turli xil sanoat texnologiyasi qo'llanishlarga mos keladi.

ADABIYOTLAR

1. Akpomie, K. G., & Dawodu, F. A. (2015). Potential of a low-cost bentonite for heavy metal abstraction from binary component system. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 4(1), 1-13. doi:10.1016/j.bjbas.2015.02.002.
2. El-Maghrabi, H. H., & Mikhail, S. (2014). Removal of Heavy Metals via Adsorption using Natural Clay Material. Journal of Environment and Earth Science, 4 (19), 38.
3. Wahab, N., Saeed, M., Ibrahim, M., Munir, A., Saleem, M., Zahra, M., & Waseem, A. (2019). Synthesis, Characterization, and Applications of Silk/Bentonite Clay Composite for Heavy Metal Removal From Aqueous Solution. Frontiers in Chemistry, 7. doi:10.3389/fchem.2019.00654.
4. Chistyakov, B. E. Theory and Practical application aspect of Surfactants / B. E. Chistyakov, V. Fainerman, D. Mobius, R. Miller // Surfactants: Chemistri, Interfec- tiol, Properties, Application. – Amsterdam : Elsevier, 2001. – vol 13. – P. 511-618.
5. Mamadoliyev, I., Fayzullayev, N., Yuldashev, S., Urakov, S., & Baykulov, A. (2024, November). Enrichment and modification of bentonite clay processes influence on structural characteristics. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3244, No. 1). AIP Publishing.
6. Fayzullayev N., Mamadoliyev I. Study of methods of chemisorption purification of hydrogen sulfide in natural gases with natural sorbent //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 401. – C. 04052.
7. Mahmud A. Muminov, Muhtor G. Nosirov , Tolibjon Mukimov, Davlat S. Normuradov, Khusan Khodjibabayev, Ismailkhujaev Bohodirkhodja, Urokov Sirojiddin, Askar Kholiyev, Bekzod B. Eshquvvatov, Ikromjon I. Mamadoliyev// Multi-faceted analysis of land use impact on rangeland health: Insights from normalized difference vegetation index assessment in stream, road, and mining areas //Journal of Ecological Engineering, 2025, 26(1), 196–2039.
8. Zaman Abdalhussein Ibadi Alaridhee, Dheyaa J. Jasim, Ikromjon Mamadoliyev, Moayad Jasim Mohammed, Abdul-Jabbar A. Ali, Ayat H. Athab, Salim S. Al-Rejaie, Mohamed Mohany, Majid Jabir, Hasan Majdi, Nadhir N. A. Jafar, Durgesh Singh & Kamini Singh// Synthesis and characterization of Cu-modified ox-g-C3N4 nanosheets as an electrode for green synthesis of phenyl Benzofuran derivatives via C–H functionalization to C–O and C–C bond formation with an electrochemical oxidation system// Published: 14 May 2024. Volume 50, pages 3053–3077, (2024) Cite this article
9. Althomali R. H. et al. Synthesis of a bistriazolyl-phenanthroline–Cu (ii) complex immobilized on nanomagnetic iron oxide as a novel green catalyst for synthesis of imidazoles via annulation reactions //Nanoscale Advances. – 2023. – T. 5. – №. 22. – C. 6177-6193.
10. Indrajit Patra, Kadhmed Madjeed Kammoud, Zahraa Haleem Al-Qaim, Ikromjon Ilkhomidinovich Mamadoliyev, Mohammed Abed Jawad, Ali Thaeer Hammid, Yasir Salam Karim, Ghulam Yasin // Perspectives and Trends in Advanced MXenes-Based Optical Biosensors for the Recognition of Food Contaminants // Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2024;54(3):633-652. doi: 10. 101080/10408347.2022.2091921. Epub 2022 Jun
11. Paygamov, R., Mexmonxonov, M., Abdikamalova, A., Eshmetov, I., Ergashev, O. //Adsorption properties of carbon adsorbents based on wood waste // E3S Web of Conferences, 2023, 401, 02013