ORGANIK BO‘YOQNING PARCHALANISHINI KUCHAYTIRISH UCHUN La BILAN MODIFIKATSIYALANGAN ZnO ASOSIDAGI FOTOKATALIZATORLAR SINTEZI VA FIZIK KIMYOVIY XOSSALARI

Magdiyev Sh.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti tayanch doktoranti
Mirzayev Sh.E.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti dotsenti, PhD
Ishankulov A.F.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti dotsenti, k.f.d.
Nasimov A.M.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti professori, k.f.d.

Annotatsiya. Rux oksidi (ZnO) nanokristallari o‘zining o‘ta samarali fotokatalitik xususiyatlari, past zaharli moddalar tarkibi va ekologik mosligi tufayli katta qiziqish uyg'otmoqda. Mazkur tadqiqotda ZnO nanoburchaklari iqtisodiy jihatdan samarali zol-gel usuli orqali sintez qilindi, so‘ngra ularning xossalari XRD yordamida har tomonlama o‘rganildi. Hosil qilingan nanoburchaklar oltiburchakli vyurtsit tuzilishga ega bo‘lib, nano o‘lchamli morfologiya va yuqori sirt maydoni bilan ajralib turadi, bu esa ularning fotokatalitik faolligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Fotokatalitik faollikni baholash maqsadida metilen ko‘k va rodamin B kabi namunaviy organik bo‘yoqlar UB va ko‘rinadigan yorug'lik nuri ostida qo‘llanildi. Olingan natijalar ZnO nanoburchaklarining yuqori kristallik darajasi va optik xususiyatlari bilan bog'liq bo‘lgan sezilarli parchalanish samaradorligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Organik bo‘yoqlar, sintez, fizik-kimyoviy xossalar, nanokristallar, ZnO, fluorestsentsiya.

Аннотация. Нанокристаллы оксида цинка (ZnO) привлекают большое внимание благодаря своим высокоэффективным фотокаталитическим свойствам, низкой токсичности и экологической безопасности. В данном исследовании наносферы ZnO были синтезированы экономичным золь-гель методом, а их свойства были всесторонне исследованы с помощью рентгенодифракционного анализа (XRD), УФ-видимой спектроскопии и ИК-спектроскопии (FTIR). Полученные наносферы имеют гексагональную структуру вюрцита, характеризуются наноразмерной морфологией и большой площадью поверхности, что имеет большое значение для повышения их фотокаталитической активности. Для оценки фотокаталитической активности использовались модельные органические красители, такие как метиленовый синий и родамин В. Полученные результаты показали значительную эффективность разложения, что

ISSN 3030-3907

объясняется высокой кристалличностью и оптическими свойствами наносфер ZnO.

Ключевые слова: Органические красители, синтез, физико-химические свойства, нанокристаллы, ZnO, флуоресценция.

Abstract. Zinc oxide (ZnO) nanocrystals have attracted considerable attention due to their highly efficient photocatalytic properties, low toxicity, and environmental friendliness. In this study, ZnO nanospheres were synthesized via a cost-effective sol-gel method, and their properties were comprehensively characterized using X-ray diffraction (XRD). The resulting nanospheres have a hexagonal wurtzite structure, are characterized by nanoscale morphology, and a large surface area, which is essential for enhancing their photocatalytic activity. Model organic dyes, such as methylene blue and rhodamine B, were used to evaluate the photocatalytic activity under UV and visible light irradiation. The results showed significant degradation efficiency, which is attributed to the high crystallinity and optical properties of ZnO nanospheres.

Keywords: Organic dyes, synthesis, physicochemical properties, nanocrystals, ZnO, fluorescence.

Kirish.

Sanoatlashishning jadal sur’atlari va aholi sonining ortishi global miqyosda atrof-muhitning ifloslanishi, xususan, suv resurslarining ifloslanishi kabi jiddiy muammolarni keltirib chiqarmoqda. To‘qimachilik, qog‘oz, farmatsevtika va oziq-ovqat sanoati kabi turli tarmoqlardan oqova suvlarga chiqariladigan organik bo‘yoqlar eng xavfli ifloslantiruvchi moddalardan hisoblanadi. Bu bo‘yoqlar nafaqat suv havzalarining estetik ko‘rinishini buzadi, balki toksik, mutagen va kanserogen xususiyatlarga ega bo‘lib, suv ekotizimlari va inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug‘diradi [1-2]. Shu bois, ushbu organik ifloslantiruvchilarni samarali, iqtisodiy jihatdan maqbul va ekologik xavfsiz usullar bilan parchalash bo‘yicha yangi texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarb vazifadir.

An’anaviy suv tozalash usullari (masalan, adsorbsiya, koagulyatsiya, flokulyatsiya, biologik tozalash) ko‘pincha qimmat, kam samarali yoki ikkilamchi ifloslantiruvchilar hosil qilish kabi kamchiliklarga ega. Shu sababli, ilg‘or oksidlanish jarayonlari, ayniqsa fotokatalitik parchalash texnologiyasi, organik ifloslantiruvchilarni butunlay mineralizatsiya qilish imkoniyati tufayli keng e’tibor qozonmoqda. Fotokataliz yarimo‘tkazgichli materiallar yordamida yorug‘lik energiyasini kimyoviy energiyaga aylantirishga asoslangan bo‘lib, bu jarayonda yuqori reaktiv gidroksil va superoksid radikallari hosil bo‘ladi. Bu radikallar organik moddalarni zararsiz mahsulotlarga (CO_2 va H_2O) parchalashga qodir [3-7].

Rux oksidi o‘zining past narxi, toksik bo‘lmaganligi, yuqori kimyoviy

ISSN 3030-3907

barqarorligi, yuqori bog‘ energiyasi (3.37 eV) va mukammal fotokatalitik xususiyatlari tufayli fotokatalizatorlar orasida istiqbolli material sifatida ajralib turadi. Uning katta sirt maydoni va elektron-tirqish juftlarining samarali ajralishi uni suv tozalash va boshqa ekologik ilovalar uchun jozibador qiladi. Biroq, sof ZnO ning fotokatalitik samaradorligi, ayniqsa ko‘rinadigan yorug‘lik ostida, bir qator cheklovlarga ega. Bu cheklovlar asosan elektron-kovush juftlarining tez rekombinatsiyasi va nisbatan keng bog‘ energiyasi (natijada faqat UB spektrini yutishi) bilan bog‘liq.

Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish va ZnO ning fotokatalitik faolligini oshirish maqsadida uni turli metall ionlari, jumladan noyob yer elementlari bilan modifikatsiya qilish keng o‘rganilmoqda. Noyob yer elementlari, masalan, lantan (La), o‘zining o‘ziga xos elektron konfiguratsiyasi tufayli yarimo‘tkazgichli materiallarning optik va elektron xususiyatlarini sezilarli darajada o‘zgartirishi mumkin. La ionlarining ZnO panjarasiga kiritilishi elektron-tirqish rekombinatsiyasini kamaytirib, yorug‘lik yutilish spektrini siljitib va katalizator sirtida ko‘proq faol markazlar hosil qilib, fotokatalitik faollikni oshirishi kutiladi.

Ushbu tadqiqotda biz La bilan modifikatsiyalangan ZnO asosidagi fotokatalizatorlarni sintez qilish, ularning fizik-kimyoviy xossalarini har tomonlama o‘rganish va organik bo‘yoqlarning (metilen ko‘k va rodamin B) parchalanishidagi fotokatalitik samaradorligini baholashga qaratilganmiz. Fotokatalizatorlar arzon va samarali zol-gel usuli yordamida sintez qilinadi. Ularning kristallik tuzilishi, morfologiyasi, optik xossalari va sirt maydoni rentgen diffraktsiya (XRD), transmissiya elektron mikroskopiya (TEM), ultrabinafsha-ko‘rinadigan (UB-Vis) spektroskopiya va Furye o‘zgartirish infraqizil (FTIR) spektroskopiya kabi asboblar yordamida tahlil qilinadi. Olingan natijalar La dopingining ZnO ning struktura-faollik munosabatiga ta’sirini tushunishga va suv tozalash texnologiyalari uchun yanada samarali fotokatalizatorlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Tajribaviy qism.

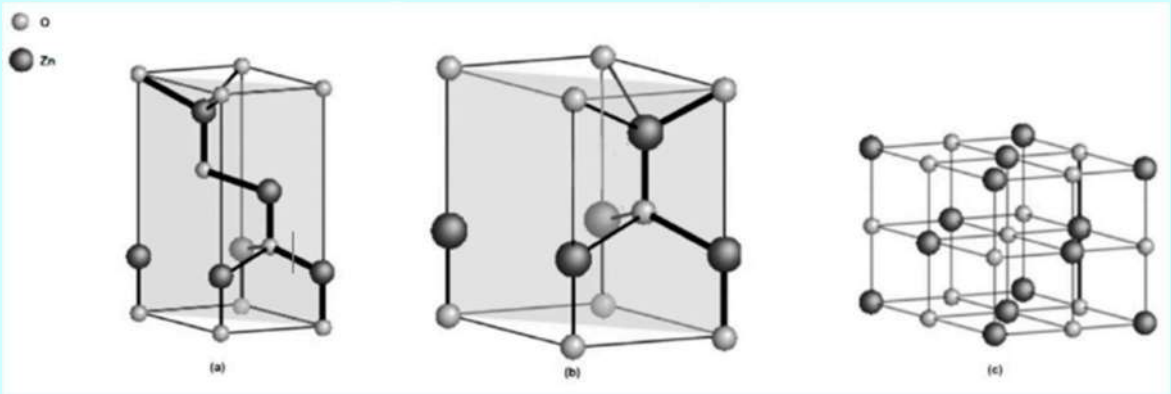
ZnO nanozarrachalari quyidagi usul orqali sintez qilindi. Gidrotermik usul prekursorlarning suvli muhitda yuqori harorat va bosim ostida reaksiyasini o‘z ichiga oladi, natijada nanozarrachalar hosil bo‘ladi. U past haroratli jarayon, ekologik tozalik, iqtisodiy samaradorlik, miqyoslash imkoniyati, oddiy uskunalar va ishlov berish qulayligi tufayli muhim muqobil sintez usuli sifatida katta qiziqish uyg'otgan. Gidrotermal jarayonning harorati, davomiyligi va prekursor kontsentratsiyasini o‘zgartirish orqali zarrachalarning shakli va o‘lchamini sozlash mumkin. Boshlang‘ich gidrotermik sintez odatda rux asetat digidrat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) eritmasiga ishqor (masalan, NaOH ning spirtli eritmasi) qo‘shish orqali amalga oshiriladi, bunda pH 8–11 oralig'ida sozlanadi. Suspenziya

ISSN 3030-3907

teflon bilan qoplangan zanglamaydigan po‘lat avtoklavda 120 °C da 6–12 soat ushlab turiladi. Hosil bo‘lgan mahsulot suv va spirt bilan tozalanib, keyin muzlatib quritish orqali ZnO-NZ kukuni olinadi [8]. Ayrim tadqiqotlarda, ultratovush yordamidagi usullar qo‘llanilganda, yanada bir xil o‘lchamli va yaxshiroq dispersiyaga ega ZnO-NZlarni olish mumkinligi ta’kidlangan [9-11].

Reaksiya tizimida suv o‘rniga etanol kabi organik erituvchi ishlatilsa (solvotermal sintez), ZnO-NZlar sferik shakldan sterjen (tayoqcha) shakliga o‘zgarishi kuzatilgan. Bu o‘zgarish rux metalli yuzasida spirtlarning C–O bog'ining oson ajralishi bilan bog'liq. Sterjen shaklidagi nano-rux oksidi kukunini olish uchun, masalan, Zn metall kukuni etanolda 20 daqiqa davomida sonik ishlov berilib, so‘ngra inert avtoklavda 200 °C haroratda 24–48 soat davomida reaksiyaga kiritiladi. Yakuniy mahsulot sentrifugalash, tozalash va vakuumda quritish orqali olinadi [12]. Shuningdek, mikroto‘lqinli nurlanish solvotermal sintezda qo‘llanilishi mumkin bo‘lib, mikroto‘lqin quvvatini nazorat qilish orqali 20 nm dan 120 nm gacha bo‘lgan nanozarrachalar o‘lchamini aniq sozlash imkoniyati mavjud [13].

Kimyoviy elementlarning davriy jadvalida rux (Zn) ikkinchi, kislorod (O) esa oltinchi guruhda joylashganligi sababli, rux oksidi (ZnO) materialshunoslik sohasida keng e'tirof etilgan II-VI guruh yarimo‘tkazgichli material hisoblanadi. ZnO yarimo‘tkazgichi o‘zining bir qator noyob va foydali xususiyatlari, jumladan, yuqori shaffoflik, antimikrobial xossalari, yuqori elektron harakatchanligi, keng taqiqlangan zonasi (3.37 eV), xona haroratida yuqori termal va mexanik barobarlik hamda kuchli lyuminestsensiyasi bilan ajralib turadi. Uning taqiqlangan zonasi ionli va kovalent yarimo‘tkazgichlar o‘rtasidagi chegarada joylashganligi bilan ahamiyatlidir [14].



1-rasm. ZnO ning kristall tuzilishi modellari (a) vyurtstsit rux oksid (b) va (c) kristall tuzi [16].

ZnO odatda vürtstsit (B4) kristall tuzilishiga ega bo‘lib, bu oltiburchakli elementar yacheyka bilan tavsiflanadi. Ushbu yacheykaning panjara parametrlari a = 0.325 nm va c = 0.521 nm ni tashkil etadi. Vyurtstsit tuzilishi xos bo‘lgan

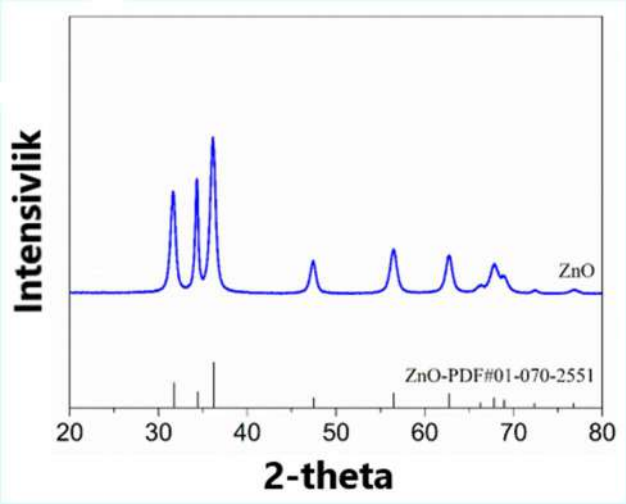
ISSN 3030-3907

oltiburchakli konfiguratsiyada har bir anion to‘rtta kation bilan tetraedrik tarzda o‘ralgan. Bu tetraedrik koordinatsiya sp^3 gibridlanishiga mos keladigan kovalent bog‘lanishning mavjudligini ko‘rsatadi. ZnO ning aynan shu tetraedrik konfiguratsiyasi uning non-sentrosimmetrik (markazga nisbatan simmetriyasiz) tuzilishga ega bo‘lishiga olib keladi (1-rasm) [15].

Olingan natijalar tahlili.

Sintez qilingan ZnO namunasining strukturaviy va fazaviy xususiyatlari rentgen nurlari difraksiyasi (XRD) tahlili orqali o‘rganildi (2-rasm). 20° dan 80° gacha bo‘lgan 2θ diapazonida olingan spektr materialning kristallik darajasi, fazaviy tarkibi va kristallografik yo‘nalishlari haqida asosiy ma’lumotlarni taqdim etdi.

XRD spektridagi barcha difraksiya piki pozitsiyalari (2θ) va ularning nisbiy intensivliklari ma’lumotlar bazasining 01-070-2551 raqamli kartasi bilan to‘liq mos keladi. Bu sintez qilingan materialning sof oltiburchakli vürtstsit (hexagonal wurtzite) fazasidagi ZnO ekanligini tasdiqlaydi. Eng muhim piklar mos ravishda 2θ≈ 31.7° 100, 34.4° 002, 36.2° 101, 47.5° 102, 56.6° 110, 62.8° 103, 67.9° 112 va 69.0° 201 kristallografik tekisliklarga tegishli. Spektrda boshqa ortiqcha piklarning yo‘qligi namuna tarkibida aralash fazalarning mavjud emasligini, ya’ni yuqori fazaviy tozalikni ko‘rsatadi. Kuzatilgan difraksiya piki aniq, o‘tkir va yuqori intensivlikka ega bo‘lib, bu sintez qilingan ZnO nanozarrachalarining yuqori kristallik darajasi va yaxshi uzoq masofali atomik tartibga egaligidan dalolat beradi.



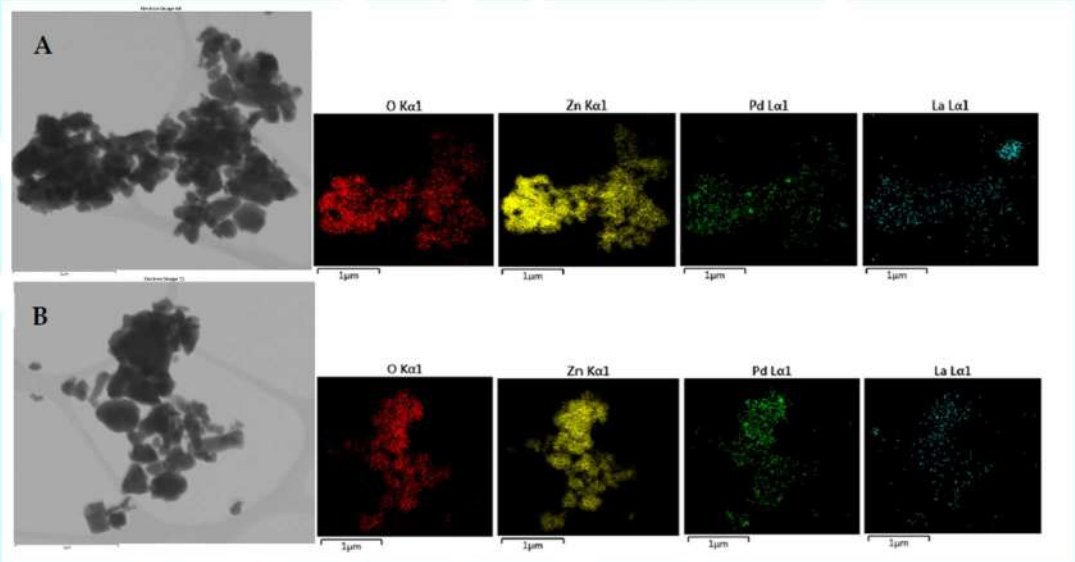
2-rasm. Sintez qilingan ZnO namunasi uchun rentgen nurlari difraksiyasi (XRD) spektri

Piklarning nisbatan kengayganligi (β) esa materialning nanoo‘lchamli tabiatini ko‘rsatadi. Eng intensiv 101 piki uchun Sharrer tenglamasi ($D = (K\lambda)/(\beta\cos\theta)$) yordamida o‘rtacha kristallit o‘lchamini aniqlash mumkin, bu yerda $K = 0.9$ (Sharrer doimiysi), $\lambda = 0.15406$ nm (Cu Kα nuri) va β – radianlarda ifodalangan yarim balandlikdagi to‘liq kenglik. Eksperimental difraksiya

ISSN 3030-3907

piklarining nisbiy intensivliklari standart PDF kartasidagi ma’lumotlarga mos kelganligi sababli, ZnO nanozarrachalarida aniq bir preferensial orientatsiya (afzal ko‘rilgan o‘sish yo‘nalishi) kuzatilmagan; ular tasodifiy joylashgan.

3-rasmda TEM tasvirlari (A va B) nanokompozit zarrachalarining aglomeratsiyalangan holatda ekanligini ko‘rsatadi, bu esa individual nanometr o‘lchamli zarrachalar mikroo‘lchamli klasterlarni hosil qilganligidan dalolat beradi. Zarrachalarning shakli asosan noto‘g'ri bo‘lib, ba’zi hududlarda yumaloqroq yoki ko‘pburchakli shakllar ham kuzatiladi.



3-rasm $Pd/La_2O_3/ZnO$ nanokompozit materiallarining morfologik tuzilishi va elementar tarkibining fazoviy taqsimotini transmisson elektron mikroskopiyasi (TEM) tasvirlari

EDX elementar xaritalari (O, Zn, Pd va La) TEM tasvirlarida ko‘rinadigan zarracha aglomeratlari bilan to‘liq ustma-ust tushadi, bu esa materialning elementar tarkibining fazoviy taqsimotini aniq ko‘rsatadi. Kislorod (O Kα1, qizil) va rux (Zn Kα1, sariq) elementlari zarracha klasterlari bo‘ylab yuqori konsentratsiyada va bir tekis taqsimlangan bo‘lib, ular kompozitning asosiy matritsasini (ZnO) tashkil etadi. Palladiy (Pd Lα1, yashil) va lantan (La Lα1, moviy) elementlari ham Zn va O elementlari bilan birgalikda klasterlar ichida joylashgan. Pd elementining mayda, tarqoq nuqtalar shaklida taqsimlanishi uning ZnO/La_2O_3 yuzasida yuqori disperslangan nanokristallar yoki atomlar holatida mavjudligini ko‘rsatadi, bu esa uning katalitik faolligi uchun muhim ahamiyatga ega. La elementining taqsimoti ham matritsaga samarali kiritilgan La_2O_3 mavjudligini tasdiqlaydi; umumiy taqsimot bir tekislikka moyil, garchi ba’zi joylarda (masalan, A namunasida) lantan konsentratsiyasining mahalliy oshishi kuzatilishi mumkin.

Xulosa. XRD tahlili sintez qilingan materialning sof, yuqori kristallik darajasiga ega bo‘lgan va oltiburchakli vürtstsit fazasidagi ZnO ekanligini bir qatorda, uning nanoo‘lchamli xususiyatlarini tasdiqladi. Ushbu strukturaviy

ISSN 3030-3907

ma’lumotlar ZnO nanozarrachalarining optik, elektron va boshqa funksional xossalari uchun fundamental asos bo‘lib xizmat qiladi.

TEM va EDX tahlillari Pd/La_2O_3/ZnO nanokompozitining muvaffaqiyatli sintez qilinganligini, uning tarkibidagi barcha elementlarning (Zn, O, Pd, La) fazoviy o‘zaro joylashishini va kompozit matritsasi bo‘ylab samarali taqsimlanganligini ishonchli tarzda tasdiqlaydi. Bu ma’lumot materialning tarkibiy gomogenligi va tarkibiy qismlarning yaxshi dispersiyasini ko‘rsatib, uning kataliz kabi amaliy qo‘llanilish sohalaridagi potentsialini asoslaydi.

ADABIYOTLAR.

1. Silva-Benigno M. B. et al. Solid-state synthesized Pd-doped ZnO for efficient and stable photocatalytic degradation of metronidazole //Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2025. – C. 120314.
2. Divya N. K., Pradyumnan P. P. Solid state synthesis of erbium doped ZnO with excellent photocatalytic activity and enhanced visible light emission //Materials Science in Semiconductor Processing. – 2016. – T. 41. – C. 428-435.
3. Renita A. A. et al. Emerging aspects of metal ions-doped zinc oxide photocatalysts in degradation of organic dyes and pharmaceutical pollutants–A review //Journal of Environmental Management. – 2023. – T. 344. – C. 118614.
4. Rasheed H. M. et al. A review on modified ZnO to address environmental challenges through photocatalysis: Photodegradation of organic pollutants //Materials Today Energy. – 2025. – T. 48. – C. 101774.
5. Soares C. T. et al. pH-tuned synthesis of Zn0. 97Dy0. 03O nanostructures via co-precipitation: correlating morphology, photocatalytic, and antibacterial behavior //Ceramics International. – 2025.
6. Silva-Benigno M. B. et al. Solid-state synthesized Pd-doped ZnO for efficient and stable photocatalytic degradation of metronidazole //Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2025. – C. 120314.
7. Yang Z. et al. Zero-dimensional carbon nanomaterials for fluorescent sensing and imaging //Chemical Reviews. – 2023. – T. 123. – №. 18. – C. 11047-11136.
8. Alafeef M. et al. Carbon dots: from synthesis to unraveling the fluorescence mechanism //Small. – 2024. – T. 20. – №. 4. – C. 2303937.
9. Gao W. et al. Deciphering the catalytic mechanism of superoxide dismutase activity of carbon dot nanozyme //Nature communications. – 2023. – T. 14. – №. 1. – C. 160.
10. Ji C. et al. Light of carbon: Recent advancements of carbon dots for LEDs //Nano Energy. – 2023. – T. 114. – C. 108623.
11. Shi L. et al. Application of room-temperature phosphorescent carbon dots in information encryption and anti-counterfeiting //Nano Today. – 2024. – T. 55. – C. 102200.

ISSN 3030-3907

12. Krasley A. T. et al. Carbon nanomaterial fluorescent probes and their biological applications //Chemical Reviews. – 2024. – T. 124. – №. 6. – C. 3085-3185.
13. Ishankulov A.F., Eliboev I.. Advancing analytical chemistry with carbon quantum dots: a comprehensive review //Analytical Methods. – 2025. – T. 17. – №. 13. – C. 2627-2649.
14. Rastgar S., Elboughdiri N. Environmentally friendly synthesis of carbon quantum dots (CQDs) to enhance photocatalytic activity for the photodegradation of various organic dyes and the evolution of hydrogen and oxygen //Journal of Fluorescence. – 2025. – C. 1-47.
15. Marouani I. et al. Preparation of a novel reusable 2D-MXene with flower-like LDH composite for ultra-high adsorption of congo red and doxycycline: Stability and environmental application //Journal of Water Process Engineering. – 2025. – T. 76. – C. 108288.
16. Beshahwored S. S. Carbon quantum dots (CQDs) in forensic investigations: a review of current applications and future perspectives //RSC advances. – 2025. – T. 15. – №. 41. – C. 34718-34732.

ISSN 3030-3907