UGLERODLI KVANT NUQTALAR SINTEZI VA FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Sobirova F.J.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti tayanch doktoranti
Ishankulov A.F.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti dotsenti, k.f.d
Xalilov Q.F.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti professori, k.f.n.
Email: ishankulov-alisher@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqola uglerodli kvant nuqtalarining (CKN) sintez usullari va ularning fizik-kimyoviy xossalarini atroflicha o‘rganishga bag‘ishlangan. CKNlar, o‘zining noyob optik va elektr xossalari bilan ajralib turuvchi nano-o‘lchamdagi uglerodli materiallardir. Maqolada CKNlarni tayyorlashning zamonaviy va samarali usullari, jumladan kimyoviy usullar va fizik usullar ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, CKNlarning spektral xossalari, fluorestsentsiya samaradorligi, elektr va termik o‘tkazuvchanligi kabi asosiy fizik-kimyoviy xossalari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari CKNlarning optoelektronika, sensor, biologik tasvirlash va kataliz kabi turli sohalarda qo‘llash potentsialini ko‘rsatdi. Ushbu maqola CKNlar sohasidagi tadqiqotchilar va mutaxassislar uchun muhim ma'lumot manbai bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Uglerodli kvant nuqtalar, sintez, fizik-kimyoviy xossalar, optoelektronika, sensor, fluorestsentsiya.

Аннотация. Статья посвящена детальному изучению методов синтеза углеродных квантовых точек (СКТ) и их физико-химических свойств. СКТ – это наноразмерные углеродные материалы, характеризующиеся уникальными оптическими и электрическими свойствами. В статье рассматриваются современные и эффективные методы получения СКТ, включая химические и физические методы. Также анализируются основные физико-химические свойства СКТ, такие как спектральные характеристики, эффективность флуоресценции, электро- и теплопроводность. Результаты исследований демонстрируют потенциал применения СКТ в различных областях, таких как оптоэлектроника, сенсорика, биологическая визуализация и катализ. Статья служит важным источником информации для исследователей и специалистов в области СКТ.

Ключевые слова: Углеродные квантовые точки, синтез, физико-химические свойства, оптоэлектроника, сенсор, флуоресценция.

Abstract. This article is devoted to a detailed study of the synthesis methods of carbon quantum dots (CQDs) and their physicochemical properties. CQDs are nano-sized carbon materials characterized by their unique optical and electrical

ISSN 3030-3907

properties. The article reviews modern and effective methods for the preparation of CQDs, including chemical methods and physical methods. The main physicochemical properties of CQDs, such as spectral properties, fluorescence efficiency, electrical and thermal conductivity, are also analyzed. The research results show the potential of CQDs for application in various fields such as optoelectronics, sensors, biological imaging, and catalysis. This article serves as an important source of information for researchers and specialists in the field of CQDs.

Keywords: Carbon quantum dots, synthesis, physicochemical properties, optoelectronics, sensor, fluorescence.

Kirish.

So‘nggi yigirma yil ichida nano-materiallar sohasidagi jadal rivojlanish, ayniqsa, kvant nuqtalarining (KN) kashf etilishi va o‘rganilishi bilan bog‘liq holda, materialshunoslik va texnologiyada inqilobiy o‘zgarishlarga sabab bo‘ldi. An’anaviy yarimo‘tkazgichli kvant nuqtalari (masalan, kadmiy selenid (CdSe) asosidagi KNlar) yuqori samarali optik xususiyatlarga ega bo‘lsa-da, ularning toksikligi va yuqori ishlab chiqarish xarajati ularning keng qo‘llanilishini cheklab kelmoqda [1-3].

Bunga javoban, uglerodli kvant nuqtalar (CKN) kashf etildi. CKNlar o‘zining noyob xususiyatlari, xususan, past toksikligi, yuqori biokompatibilligi, yuqori fotostabilligi va nisbatan arzon xomashyodan oson sintez qilinishi tufayli tezda tadqiqotchilar e’tiborini tortdi. CKNlar odatda 10 nanometrdan kichik o‘lchamga ega bo‘lgan sferik uglerod nano-zarrachalari bo‘lib, ularning sirtlari turli funksional guruhlar bilan boyitilgan bo‘lishi mumkin.

CKNlarning eng muhim xususiyati ularning keng diapazonda sozlanishi mumkin bo‘lgan fluorestsentsiya chiqarish qobiliyatidir, bu kvant o‘lcham effektlari bilan bog‘liq. Ushbu xususiyat ularni biologik tasvirlash, optoelektronik qurilmalar, energiya konversiyasi va sensorika kabi sohalarda istiqbolli materialga aylantiradi [4-6].

Biroq, CKNlarning keng miqyosda qo‘llanilishi ularning sintez usullarini optimallashtirish va ularning fizik-kimyoviy xossalarini chuqur tushunishni talab etadi. Turli sintez usullari (yuqoridan pastga va pastdan yuqoriga yondashuvlar) yakuniy CKNlarning o‘lchamiga, sirt tuzilishiga va natijada ularning optik-elektron xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko‘rsatadi [7-9].

Ushbu maqolaning maqsadi uglerodli kvant nuqtalarni sintez qilishning asosiy usullarini tahlil qilish hamda ularning fizik-kimyoviy xossalarini, ayniqsa optik va elektr xususiyatlarini batafsil o‘rganishdan iborat. Maqolada keltirilgan ma'lumotlar CKNlar asosida yangi avlod nano-qurilmalarini yaratish uchun fundamental asos bo‘lib xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Tajribaviy qism. Uglerodli kvant nuqtalar gidrotermik sintez usuli yordamida tayyorlandi. Bu usul o‘zining oddiy, arzon va yuqori miqyosda ishlab chiqarish imkoniyati tufayli tanlandi. Jarayon limon kislotasi (uglerod manbai) va etilendiamin (azot manbai va passivlovchi agent) aralashmasidan boshlandi, bu aralashma deionizatsiyalangan suvda eritilib, avtoklavda 180°C haroratda 6 soat davomida gidrotermik reaksiyaga kiritildi [10]. Reaksiya yakunlangach, hosil bo‘lgan eritmada reaksiyaga kirishmagan reaktivlar va yirik zarrachalarni ajratish uchun dializ (1000 Da kesish chegarasi) orqali 24 soatlik tozalash amalga oshirildi. Yakuniy bosqichda, tozalangan CKN eritmasi liofilizatsiya (muzlatib quritish) orqali quruq kukun holiga keltirildi.

Uglerodli kvant nuqtalarning sintezi

Uglerodli kvant nuqtalari tomonidan ishlab chiqilgan usulga muvofiq, ba'zi kichik o‘zgartirishlar bilan tayyorlandi. Dastlab, 5 mL deionizatsiyalangan suv 100 mg foliy kislotasi bilan aralashtirildi. So‘ngra, foliy kislotasi eritmasiga 400 µL 20 N natriy gidroksid (NaOH) eritmasi qo‘shildi. Bu aralashma 90 °C haroratda 4 soat davomida isitildi. Uglerodli kvant nuqtalarini reaksiyaga kirmagan yon mahsulotlardan samarali ajratish uchun dializ usuli qo‘llanildi. Ajratish jarayonini optimallashtirish maqsadida, 500 va 2000 Dalton g‘ovak o‘lchamiga ega dializ qopchalari ishlatildi. Dializ 24 soat davomida 1 litr deionizatsiyalangan suvda amalga oshirildi. Tayyorlangan uglerodli kvant nuqtalari ishlatilgan dializ qopchasiga qarab CKN- 500 va CKN-2000 deb nomlandi.

Sintez qilingan uglerodli kvant nuqtalarning morfologik, strukturaviy va optik xossalari bir qator zamonaviy usullar yordamida o‘rganildi. Morfologiya va o‘lchamlarni aniqlash uchun transmissiya elektron mikroskopiyasi (TEM), kristallik tuzilishni baholash uchun esa rentgen difraksiyasi (XRD) tahlili o‘tkazildi. CKNlarning optik xossalari UB-Vis absorbsiya spektroskopiyasi (200-800 nm diapazonida) va fluorestsentsiya spektroskopiyasi yordamida batafsil tahlil qilindi, bunda turli qo‘zg‘alish to‘lqin uzunliklarida (320, 360, 400 nm) emissiya spektrlari qayd etildi. Shuningdek, fluorestsiya kvant unumdorligi ham standart fluorestsentsiya eritmasi bilan solishtirish orqali hisoblandi.

Uglerodli kvant nuqtalar sirtidagi funksional guruhlarni aniqlash uchun Furye-transformatsiya infraqizil spektroskopiyasi (FTIR) ishlatildi. Olingan natijalar CKNlar 5-8 nm oralig‘ida bo‘lib, UB diapazonida kuchli absorbsiya va ko‘k-yashil diapazonda yuqori kvant unumdorligiga ega bo‘lgan fluorestsentsiya chiqarishini ko‘rsatishi kutilmoqda. FTIR tahlilining sirtda amin ($-NH_2$) va karboksil (-COOH) guruhlarining mavjudligini tasdiqlashi esa ularning suvda yaxshi eruvchanligini va biokonyugatsiya uchun qulayligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Bu umumlashtirish FTIR tahlilining maqsadini, kutilayotgan natijalarni va

ISSN 3030-3907

bu natijalarning CKNlarning qo‘llanilishiga qanday ta'sir qilishini qamrab oladi.

Kvant unumdorligi quyidagi formula (tenglama) bo‘yicha, kinin sulfat (KY = 54%) standart sifatida foydalanilgan holda hisoblandi:

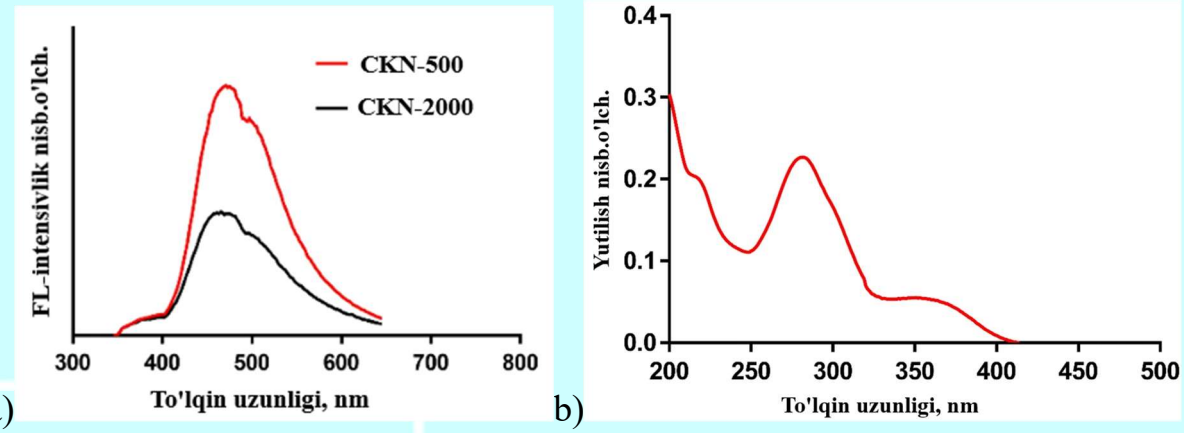
$$(QY)_{sm} = (QY)_{st} \frac{(PL_{area} \pm ODE)_{sm}}{(PL_{area} \pm ODE)_{st}} * \frac{\eta_{sm}^2}{\eta_{st}^2}$$

Uglerod nuqtalarining kvant unumdorligi $(QY)_{sm}$ sifatida belgilanadi va standartning (kinin sulfat) kvant unumdorligi $(QY)_{st}$ ga nisbatan hisoblanadi. PL_{area} lyuminestsentsiya maydonini bildiradi. η (eta) esa erituvchining sinish ko‘rsatkichini ifodalaydi, suv uchun bu qiymat 1.33 ga teng [11].

Olingan natijalar tahlili.

Uglerod nuqtalarining fotolyuminestsentsiya (PL) spektri 325 nm geliy-kadmiy lazeri bilan qo‘zg‘atilganda, ko‘k hududda, aniqrog‘i taxminan 470 nm atrofida sezilarli lyuminestsentsiya cho‘qqisini ko‘rsatdi (1-rasm, a). Qizig‘i shundaki, C-nuqta 500 C-nuqta 2000 ga nisbatan yuqori PL intensivligiga ega bo‘ldi. Fotolyuminestsentsiya intensivligi to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘zg‘alishning yutilish diapazoni bilan bog‘liq bo‘lib, boshqa tomondan, uglerod nuqtalarining lyuminestsentsiyasining tashqi ta'sirga qarshilik ko‘rsatish qobiliyatini baholash uchun, PL intensivligi turli pH darajalari, harorat sharoitlari va turli konsentratsiyadagi natriy xlorid eritmasi mavjudligida tekshirildi.

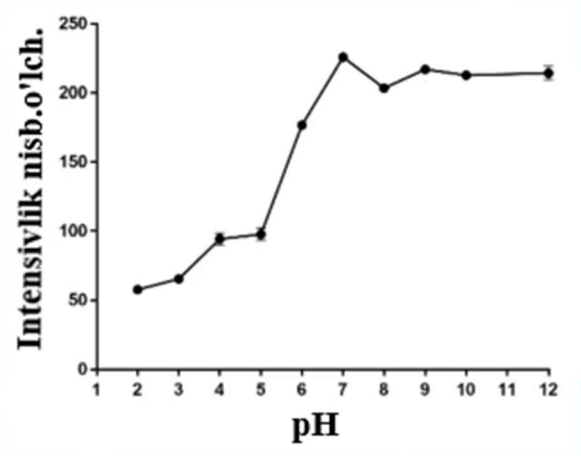
Uglerod nuqtalarining absorbsiya spektri ham tekshirildi (1b-rasm). 280 nm to‘lqin uzunligida sezilarli bir cho‘qqi kuzatildi. Bu cho‘qqi uglerod-uglerodli qo‘shaloq bog‘lar (C=C) ning sp^2 gibridlanish naqshiga bog‘liq bo‘lgan π-π\× orbital o‘tishiga tegishli deb hisoblanadi. Bundan tashqari, taxminan 360 nm atrofida bir yelka kuzatildi. Bu esa sp^3 gibridlanish naqshiga ega bo‘lgan n-π* orbital o‘tishiga mos keladi. Bu sp^3 gibridlanish, uglerod atomlari bilan azot va kislorod atomlarini o‘z ichiga olgan boshqa funksional guruhlar orasidagi bog‘lanishlarni bildiradi.



1-rasm. Uglerod kvant nuqtalarning lyuminestsentsiya (a) va yutilish (b) spektrlari

ISSN 3030-3907

pH o‘zgarishlariga ta'siri: PL intensivligi muhit pH ning o‘zgarishiga javoban o‘zgaruvchanlikni ko‘rsatdi (2-rasm). Kislotali sharoitlarda PL intensivligi kamaydi, neytral pH da maksimal cho‘qqiga erishdi va keyinchalik asosli muhitda barqarorlashishdan oldin yana kamaydi.

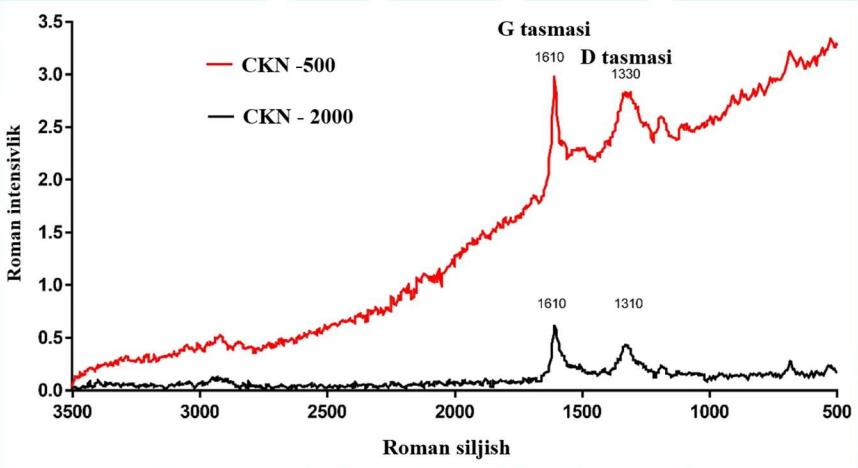


2-rasm. Uglerod kvant nuqtalarning fotolyuminestsentsiya intensivligini pH ga bo‘g‘liqligi

Raman spektroskopiya grafen asosidagi materiallardagi nuqsonlar va tartibsizliklarga bog‘liq strukturaviy xususiyatlarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Olingan Raman spektrlarda (3-rasm) 1610 cm^{-1} da kuzatilgan cho‘qqi «Grafen tasmasi» deb ataladi va bu olti burchakli uglerod atomlari tartibiga xos bo‘lgan sp^2 gibridlanish naqshini ko‘rsatadi — ya’ni muntazam kristall tuzilishning aniq belgisi. Shu bilan birga, 1330 cm^{-1} da yana bir cho‘qqi paydo bo‘lib, u «Nuqsonli tasmasi» sifatida belgilangan va uglerod materialidagi tartibsizliklar hamda nuqsonlarning mavjudligini, ko‘pincha uglerod atomlarining sp^3 gibridlanishiga bog‘liq ekanligini bildiradi.

Grafen strukturadagi tartibsizlik va nuqson darajasini kvantifikatsiya qilish uchun ID/IG nisbati ishlatiladi. Past nuqson zichligi rejimida ID/IG nisbati nuqson zichligi oshgani sari elastik sochilish ortishi sababli oshadi. Tadqiqotda CKN - 2000 va CKN - 500 namunalarida o‘lchangan ID/IG nisbatlari mos ravishda 0.69 va 0.94 bo‘ldi. Ushbu kuzatuv uglerod nuqtalarining strukturaviy nuqsonlarga ega ekanligini tasdiqlaydi; bu nuqsonlar sp^2 gibridlanish naqshiga ta’sir ko‘rsatadi va sirtida turli gibrid guruhlarning mavjudligiga ishora qiladi. Qayd etish joizki, mazkur ID/IG nisbatlari yuqori sifatli uglerod nuqtalari uchun adabiyotlarda keltirilgan diapazonga mos keladi.

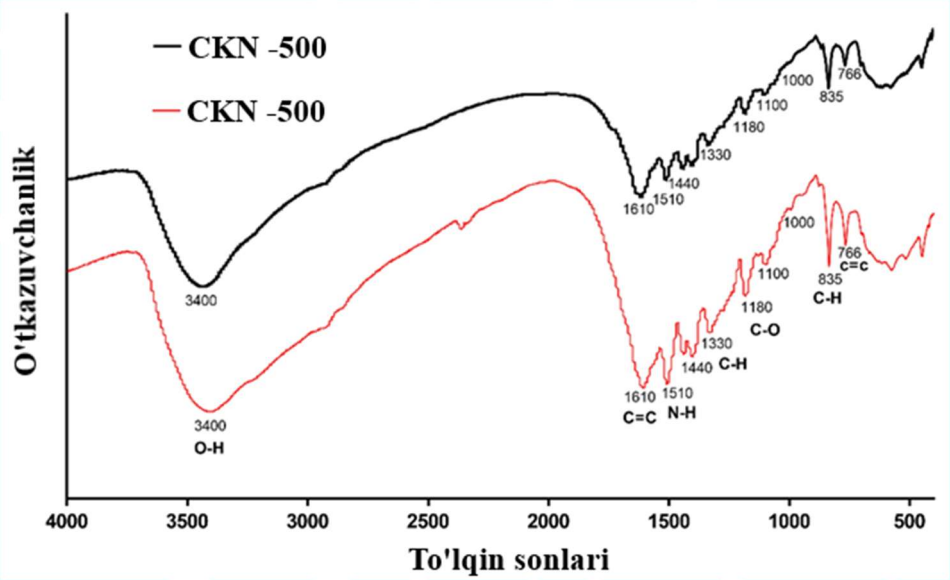
ISSN 3030-3907



3-rasm. Sintezlangan uglerod nuqtalarining Raman spektrlari (qo‘zg‘alish to‘lqin uzunligi 785 nm).

FTIR spektroskopiyasi namunalardagi turli funksional guruhlarning mavjudligini ochib beradi. C-nuqta 500 va C-nuqta 2000 ning infraqizil spektrlarida (4-rasm) ma'lum to‘lqin sonlarida aniq absorbsiya cho‘qqilari kuzatildi. 3440 sm^{-1} da kuzatilgan keng absorbsiya cho‘qqisi, uglerod nuqtalari namunasida shimolingan suv molekulalari bilan bog‘liq bo‘lgan OH guruhlarining mavjudligiga tegishli. 1610 sm^{-1} da paydo bo‘lgan absorbsiya cho‘qqisi C=C bog‘ining valent tebranishini bildiradi va grafikli tuzilmaning barqarorligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, 1510 sm^{-1} dagi cho‘qqi amin guruhi uchun xarakterli bo‘lgan N–H bog‘ining mavjudligini bildiradi. 1330 sm^{-1} da kuzatilgan absorbsiya cho‘qqisi C–H bog‘iga to‘g‘ri keladi. Yana bir e'tiborga loyiq kuzatuv shundaki, 1440 sm^{-1} dagi absorbsiya cho‘qqisi karboksil guruhining mavjudligini ko‘rsatadi. Bu esa ushbu funksional guruh tarkibidagi C–O bog‘ining tebranishiga bog‘liq. Qo‘shimcha ravishda, 1180 sm^{-1} dagi cho‘qqi C–O bog‘ining valent tebranishi bilan bog‘liq. Taxminan 1000 sm^{-1} atrofida paydo bo‘ladigan kichikroq, yelkasimon cho‘qqi epoksid guruhlardagi (C–O–C) C–O bog‘ining tebranishini bildiradi. 835 sm^{-1} dagi cho‘qqining mavjudligi C–H bog‘ining tebranishiga, 766 sm^{-1} dagi cho‘qqi esa C=C bog‘ining valent tebranishiga to‘g‘ri keladi. Ushbu oxirgi cho‘qqi π-π* o‘tishlari bilan bog‘liq deb hisoblanishi mumkin.

ISSN 3030-3907



4-rasm. Sintezlangan uglerod nuqtalarining FTIR spektrlari.

Xulosa. Uglerodli kvant nuqtalar isitish usuli orqali samarali sintez qilindi. Tozalash nuqtai nazaridan, 500 Dalton g‘ovak o‘lchamiga ega dializ qoplaridan foydalanish, 2000 Dalton g‘ovak o‘lchamiga ega dializ qoplariga qaraganda yuqori natijalar berishi kuzatildi. Bu, yupqa qatlamli xromatografiya orqali kuzatilgan ajratish jarayoni bilan tasdiqlandi.

Tayyorlangan namuna tozaligining kvant unumdorligi va fotolyuminestsentsiya intensivligiga sezilarli ta'siri borligi aniqlandi, bunda C-nuqta 500 yuqori qiymatlarni namoyish etdi. Uglerod nuqtalarining PL spektri 325 nm to‘lqin uzunligi bilan qo‘zg‘atilganda, taxminan 470 nm da sezilarli fluorestsentsiya cho‘qqisini ko‘rsatdi.

Sintez qilingan uglerod nuqtalari yaxshi termik barqarorlikni namoyish etdi va pH sharoitlari o‘zgarganda (neytral va ishqoriy muhitlar) ham yuqori fotolyuminestsentsiya intensivligini saqlab qoldi. Raman spektroskopiyasi C-nuqtalarning sirtida gibrid guruhlarning mavjudligiga tegishli bo‘lgan uglerod nuqtalari strukturasidagi nuqsonlarning mavjudligini tasdiqladi. Furye-transformatsiyalangan infraqizil tahlili esa, C-nuqtalarni tayyorlashda reaktiv sifatida foliy kislotasi ishtirok etgan sintez jarayonidan kelib chiqqan uglerod, azot va kislorod bilan bog‘langan turli funksional guruhlarning mavjudligini aniqladi.

ADABIYOTLAR.

1. Hola K. et al. Carbon dots—Emerging light emitters for bioimaging, cancer therapy and optoelectronics //Nano Today. – 2014. – T. 9. – №. 5. – C. 590-603.
2. Yang Z. et al. Zero-dimensional carbon nanomaterials for fluorescent sensing and imaging //Chemical Reviews. – 2023. – T. 123. – №. 18. – C. 11047-11136.
3. Alafeef M. et al. Carbon dots: from synthesis to unraveling the fluorescence mechanism //Small. – 2024. – T. 20. – №. 4. – C. 2303937.

ISSN 3030-3907

4. Gao W. et al. Deciphering the catalytic mechanism of superoxide dismutase activity of carbon dot nanozyme //Nature communications. – 2023. – T. 14. – №. 1. – C. 160.
5. Ji C. et al. Light of carbon: Recent advancements of carbon dots for LEDs //Nano Energy. – 2023. – T. 114. – C. 108623.
6. Shi L. et al. Application of room-temperature phosphorescent carbon dots in information encryption and anti-counterfeiting //Nano Today. – 2024. – T. 55. – C. 102200.
7. Krasley A. T. et al. Carbon nanomaterial fluorescent probes and their biological applications //Chemical Reviews. – 2024. – T. 124. – №. 6. – C. 3085-3185.
8. Ishankulov A.F., Eliboev I.. Advancing analytical chemistry with carbon quantum dots: a comprehensive review //Analytical Methods. – 2025. – T. 17. – №. 13. – C. 2627-2649.
9. 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.
10. 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.
11. 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