



UDK:543.426.1

Sevara KIRYIGITOVA,

Jizzax davlat pedagogika universiteti tayanch doktoranti

E-mail: kiryigitovasevara@gmail.com

Marat SULTONOV,

Jizzax davlat pedagogika universiteti kimyo fanalri doktori, professori

E-mail: Sultonov@mail.ru

O'zbekiston Milliy universiteti Jizzax filiali katta o'qituvchisi, PhD A.O'ralov taqrizi asosida

KARBON NUQTALAR ASOSIDA Hg (II) IONLARINI ANIQLASH: SINTEZ, LYUMINESSENSIYA VA INFRAQIZIL SPEKTROSKOPIK TAHLIL

Annotatsiya

Mazkur maqoladaxitozan va ditizon asosida tayyorlangan karbon nuqtalarning simob (Hg^{2+}) ionlariga sezuvchanligi lyuminessensiya va infraqizil (IQ) spektroskopik usullar orqali o'rganildi. Olingan karbon nuqtalar yuqori fluoressensiya xossalari va simob ionlari bilan kompleks hosil qilish xususiyatiga ega bo'lib, ularning tahliliy sezuvchanligi va selektivligi isbotlandi. IQ spektrlarda funksional guruhlar tebranishining siljishi orqali simob bilan kompleks hosil bo'lish jarayoni tasdiqlandi.

Kalit so'zlar: karbon nuqtalar, simob ionlari, lyuminessensiya, IQ spektri, xitozan, ditizon, spektrofotometr.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ РТУТИ (Hg^{2+}) НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК: СИНТЕЗ, ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ИНФРА-КРАСНЫЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Аннотация

В работе представлены углеродные точки, синтезированные из хитозана и дитиозона, для обнаружения ионов ртути (Hg^{2+}). Полученные наночастицы обладают яркой люминесценцией и способностью к комплексообразованию с Hg^{2+} . Их чувствительность подтверждена снижением интенсивности флуоресценции. Сдвиги в ИК-спектрах указывают на участие функциональных групп в связывании ионов ртути, демонстрируя высокую селективность сенсора.

Ключевые слова: углеродные точки, ионы ртути, люминесценция, ИК-спектр, хитозан, дитизон, спектрофотометрия.

DETECTION OF Hg (II) IONS BASED ON CARBON DOTS: SYNTHESIS, LUMINESCENCE, AND INFRARED SPECTROSCOPIC ANALYSIS

Annotation

This study investigates the sensitivity of carbon dots synthesized from chitosan and dithizone toward mercury ions (Hg^{2+}) using luminescence and infrared (IR) spectroscopic methods. The synthesized carbon dots exhibited strong fluorescence properties and the ability to form stable complexes with Hg^{2+} ions. A decrease in luminescence intensity confirmed their analytical sensitivity and selectivity toward mercury ions. Shifts observed in the IR spectra of functional group vibrations provided spectroscopic evidence of complex formation between the carbon dots and mercury ions.

Keywords: carbon dots, mercury ions, luminescence, infrared spectroscopy, chitosan, dithizone, spectrophotometer.

Kirish So'nggi yillarda ekologik ifloslanish, xususan og'ir metall ionlarining suv va tuproq muhitida ortib borishi global muammoga aylangan. Simob(II) ionlari (Hg^{2+}) ayniqsa toksikligi va biotizimlarda to'planish xususiyati bilan xavfli hisoblanadi. Ushbu ionlarning atrof-muhit va organizmga salbiy ta'siri tufayli ularni aniqlashning sezgir, tezkor va ishonchli usullarini ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi. Mazkur tadqiqotda xitozan va ditizon asosida karbon nuqtalar sintez qilindi va ularning simob(II) ionlariga sezgirliги lyuminessensiya va infraqizil (IQ) spektroskopiya usullari orqali o'rganildi. Xususan, karbon nuqtalar va Hg^{2+} ionlari o'rtasidagi kompleks hosil bo'lish jarayoni, optik signallardagi o'zgarishlar, shuningdek, funksional guruhlarining o'zaro ta'siri tahlil qilindi. Ushbu yondashuv simob ionlarini ekologik monitoring va biologik namunalar tahlilida aniqlash uchun yangi biosensor tizimlar yaratish imkonini beradi. Karbon nuqtalar (carbon dots, CDs) ushbu maqsadlar uchun istiqbolli nanomateriallar qatorida turadi. Ular kichik o'lchamli, yaxshi suvda eruvchan, toksik bo'lmagan, fotostabil va turli funksional guruhlar bilan modifikatsiyalash imkoniyatiga ega bo'lgan kvant o'lchamdagi tuzilmalardir. Ayniqsa, lyuminescent xossalari ularni optik aniqlovchi sifatida qo'llashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Bugungi kunda sanoat va qishloq xo'jaligi faoliyatining kengayishi bilan atrof-muhitdagi ko'plab toksik elementlarning kontsentratsiyasi doimiy ravishda oshib bormoqda. Atrof-muhit ifloslanishidan eng ko'p suv ekotizimlari zarar ko'rmoqda. Oqava suvlarning tarkibi, asosan suv bilan bog'liq bo'lgan texnologiyaga, ishlab chiqarish jarayonlariga va ishlatiladigan kimyoviy moddalarga bog'liq. Shuning uchun chiqindi suvlarda simob (II) va kadmiy (II) ionlarining miqdori muntazam mavjud. Simob (II), kadmiy (II) va ularning birikmalari tabiiy suvlarga asosan to'qimachilik, kimyo, metallurgiya va metallarga ishlov berish zavodlarining oqava suvlari bilan birgalikda kiradi. Simob bug'lari, ayniqsa metilsimob shaklida, organizmlarda yuqori darajada bioakkumulyatsiyalanadi va biomagnifikatsiya orqali oziq zanjiri orqali yuqori trofik darajalarga yetib boradi. Bu xavf ayniqsa dengiz va ko'l tizimlarida yuqori bo'lib, inson salomatligiga katta tahdid soladi [1]. Zamonaviy ilmiy manbalar simobning atrof-muhitga va tirik organizmlarga zararini keng yoritmoqda. Al-Sulaiti va boshq [2]. fikricha, metilsimob eng zaharli shakl bo'lib, inson organizmiga baliq istemoli orqali kiradi va nerv tizimiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Zhangning ta'kidlashicha [3] simob emissiyalari global sog'liq uchun salbiy oqibatlariga olib keladi va bu xavf, ayniqsa, sog'liqni

saqlash imkoniyatlari past hududlarda sezilarli ekanligini ko'rsatgan. Shuningdek, Palathoti va boshq [4] esa kichik ko'lamli oltin qazib olish sohalarida ishchilar orasida surunkali kasalliklar, ayniqsa nevrologik muammolar kuzatilishini izohlagan. Selin [5] global darajadagi siyosiy choralar zarurligini ta'kidlab, simob ifloslanishini kamaytirishda Minamata konvensiyasining ahamiyatini ko'rsatgan. Rusin va boshq [6] ta'kidlashicha, tuproqdagi simob sabzavotlarda to'planib, odamlar salomatligi uchun qo'shimcha xavf tug'diradi. Shu nuqtayi nazardan, u simobni qo'rg'oshindan ham xavfli deb hisoblaydi. Agarwalla va boshq [7] Hindistondagi ko'mir yoqiladigan elektr stansiyalarini simobning asosiy manbasi sifatida ko'rsatadi. Yuqoridagi ilmiy manbalar asosida ko'rish mumkinki, simob ifloslanishi global miqyosda ekotizimlar va inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug'diradi. U sanoat faoliyati, energetika sektori va qishloq xo'jaligi orqali atrof-muhitga kirib, oziq-ovqat zanjirida to'planadi. Simobning bartaraf etilishi hamda nazorati bo'yicha xalqaro hamkorlik va ilg'or texnologiyalar zarur. Shu sababli, analitik kimyo sohasida simob ionlarini aniqlash uchun yuqori sezuvchanlik va selektivlikka ega usullar ishlab chiqilgan. Bu usullarning bir necha turlari bor Jumladan, atom-absorbtion spektroskopiya – simob ionlarini aniqlashda keng qo'llaniladigan klassik va ishonchli usullardan biridir. Bu usul yuqori sezuvchanlikka ega va ppb darajadagi Hg^{2+} ni aniqlay oladi [8]. Keyingi usul bu [9] Kold-vapor AAS (CV-AAS) simobni bug' holatida aniqlashga asoslangan bo'lib, ayniqsa suvdagi Hg^{2+} ni aniqlashda samaralidir. Fluoresansga asoslangan ratiometrik zondlar so'nggi yillarda katta e'tibor qozonmoqda. Ular simob ionlari bilan selektiv ravishda o'zaro ta'sirlashib, spektral o'zgarishlar orqali Hg^{2+} ni aniqlaydi [10]. Elektroximik usullar Hg^{2+} ionlarini aniqlashda tezkor va arzon bo'lishi bilan ajralib turadi. Bunda ishlatiladigan modifikatsiyalangan elektrodalarda simob ionlari elektrokimyoviy javob beradi [11]. Yana bir usullardan biri bu kolorimetrik sensorlardan foydalanishdir. Kolorimetrik sensorlar Hg^{2+} ionlari ishtirokida rang o'zgarishiga asoslangan bo'lib, ko'z bilan kuzatish yoki UV-Vis spektroskopiya orqali o'lchanadi. Ular oddiy va tezkor bo'lgani sababli maydon sharoitida qo'llaniladi [12]. Bu usullar Ichida eng arzon va selektivlikka ega bo'lgan usul bu karbon nuqtalar orqali simob ionlarini aniqlash usulidir. So'nggi yillarda ushbu nol o'lchovli nanomateriallar past toksiklik, sintezning qulayligi, biologik moslik, suvda mukammal eruvchanligi, yaxshi fotostabilligi, funksionalizatsiya qulayligi va noyob optik xususiyatlar kabi taniqli xususiyatlar tufayli turli xil fanlarning tadqiqotchilarining e'tiborini oshirdi [13]. Dastlabki natijalar [14] gidrotermik usullar bilan tayyorlangan nanostrukturalar katalitik samaradorlikni yaxshiroq ko'rsatishini aniqladi. Xu va boshqalar uzum qobig'idan CNni olish uchun $180^{\circ}C$ da 6 soat davomida Teflon qobiqli avtoklavga jigarrang eritma hosil bo'lguncha qo'yishgan [15]. Shuningdek, tabiiy polimerlardan ham Karbon nuqtalar olish mumkinligi aniqlangan. Masalan, xitin qisqichbaqasimonlardan ajralib chiqadigan chiqindilar tarkibida uchraydigan tabiiy polimerdir. Xitin tarkibi N-asetil-D-glukozamindan iborat [16]. Xitozan va ditizon asosida tayyorlangan karbon nuqtalari og'ir metall ionlarini aniqlashda yuqori sezuvchanlik va selektivlikka ega bo'lib, atrof muhit monitoringi va suv sifatini nazorat qilishda keng qo'llaniladi. Xitozan Hg^{2+} , Cd^{2+} , As^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} kabi og'ir metall ionlarini aniqlashda foydalaniladi

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu maqolada karbon nuqtalar sintezi ularning lyuminessensiya xossalari va infraqizil spektrofotometrik tahlillari muhokama qilindi. Karbon nuqtalarni sintez qilish uchun xitozan va ditizon dan foydalanildi. Sintez jarayonida xitozan va ditizonning turli nisbatlari (1:1, 2:1, 1:2) qo'llanildi. Har bir nisbat asosida olingan namunalar alohida tayyorlanib, ularning fizik-kimyoviy xossalari o'rganildi. Tadqiqot davomida karbon nuqtalarning lyuminessensiya xususiyatlari bilan bir qatorda infraqizil (IR) spektrlari ham o'rganildi. Tarkibiy funksional guruhlarini aniqlashda **Fourier-o'zgartmali infraqizil spektroskopiya (FTIR)** usuli qo'llanildi. Bunda karbon nuqtalarning sirtida karboksil, karbonil, va amino guruhlarining mavjudligi aniqlandi. Shuningdek, karbon nuqtalarni hosil qiluvchi xitozan va ditizon komponentlarining turli nisbatlarda qo'llanishi va ularning simob ionlari bilan o'zaro ta'sirida lyuminessensiyaga ta'siri ham tahlil qilindi.

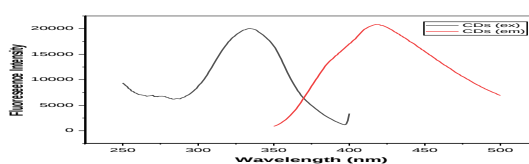
Lyuminessensiya xossalari baholash uchun **fotolyuminessensiya (PL)** tahlillari bajarildi. Bunda har bir namunaning uyg'otish (λ_{ex}) va emissiya (λ_{em}) to'liq uzunliklari aniqlanib, ularning yorqinlik intensivligi o'lchandi. Lyuminessensiyaning simob ionlari (Hg^{2+}) ishtirokida qanday o'zgarishi turli konsentratsiyalar oralig'ida sinovdan o'tkazildi.

Tahlil va natijalar. 0.376 gr xitozan analitik tarozida o'lchandi va 50ml lik stakanga solindi. Ustidan 20ml distillangan suv va 1ml 1Mli (5.7%li) sirka kislotasi qo'shildi va magnitli aralashtirgichda tiniq eritma hosil bo'lguncha aralashtirildi. Keyingi eritmani tayyorlash uchun 0.156 gr ditizon tarozida o'lchab olindi va 25ml lik o'lchov stakaniga solindi ustidan 20ml distillangan suv va 1ml 75%lik etil spirtidan qo'shib aralashtirildi. Ikkinchi eritma ham to'q siyohrang hosil bo'lguncha aralashtirildi. Ikkala eritma bir biriga qo'shildi 50ml lik stakan belgisigacha distillangan suv qo'shib aralashtirildi. Olingan aralashma 50mllik aftoklavga solib quritish pechiga $180^{\circ}C$ 6 soatga vaqt belgilandi



1-Rasm. Karbon nuqtalar sintez qilish

Kyuvetaga 0,01% li karbon nuqta 1,0 ml va 2 ml distillangan suv solib, spektrofotometr (RF-6000, Shimadzu) da bir nechta tahlillar bajarildi va natijalar quyidagi grafiklarda keltirildi. Sintez qilib olingan karbon nuqtalarining (CDs) fotolyuminesensiya xossalari 340-550 nm oralig'ida o'lchandi. Grafikda ko'rish mumkinki, karbon nuqtalarining o'ziga xos qo'zg'alish (ex) va emissiya (em) spektrlari mavjud bo'lib, maksimal qo'zg'alish taxminan 360 nm, maksimal emissiya esa 440-460 nm atrofida kuzatiladi. Bu karbon nuqtalar strukturasi $\pi \rightarrow \pi^*$ va $n \rightarrow \pi^*$ o'tishlar bilan bog'liq.



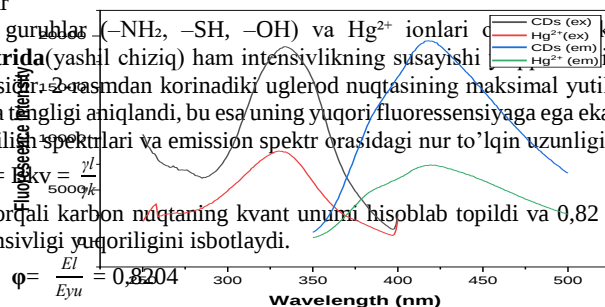
2-Rasm. Karbon nuqtalarning ex va em to'liq uzunligi

Simob ionlari (Hg^{2+}) qo'shilgandan so'ng, **excitation** spektrida (qizil chiziq) intensivlikning sezilarli darajada kamaygani kuzatiladi. Bu karbon nuqtalar

sirtidagi funksional guruhlarning ($-\text{NH}_2$, $-\text{SH}$, $-\text{OH}$) va Hg^{2+} ionlari bilan kompleks hosil bo'lishini anglatadi. Shuningdek, **emissiya spektrida** (yashil chiziq) ham intensivlikning susayishi kuzatiladi. Bu hodisani **quenching** (suyatish) deb atash mumkin. Bu fotoluminesensiyaning so'nishi (**quenching**) hodisasi. Bu rasmidan korinadiki uglerod nuqtasining maksimal yutilish va emission to'lqin uzunligi mos ravishda 360 nm va 440 nm ga tengligi aniqlandi, bu esa uning yuqori fluoressensiyaga ega ekanligini va metall ionlarini aniqlashda mos kelishini ko'rsatadi. Yutilish spektrali va emission spektr orasidagi nur to'lqin uzunligi farqi:

$$B_e = \frac{E_l}{E_k} = \frac{h\nu_{li}}{h\nu_{kNk}} = \frac{\nu_l}{\nu_k} = \frac{\lambda_k}{\lambda_l} = \frac{1}{5009\%}$$

Yuqoridagi formula orqali karbon nuqtaning kvant unumi hisoblab topildi va 0,82 ga tengligi aniqlandi. Bu esa karbon nuqtaning nur chiqarish intensivligi yuqoriligini isbotlaydi.

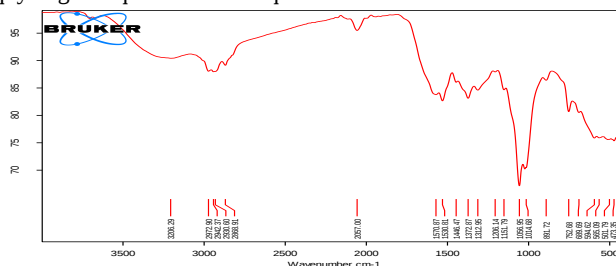


3-Rasm. Hg^{2+} ionlarining karbon nuqtalarga ta'siri

Rasmida taqdim etilgan spektral grafik karbon nuqtalarning (CDs) fotoluminesensiya xossalari va Hg^{2+} ionlari ta'siridagi o'zgarishlarni tasvirlaydi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, karbon nuqtalarning **excitation (ex)** spektrida maksimal yutilish to'lqin uzunligi **360 nm** atrofida joylashgan (qora chiziq). Bu CDs strukturasi $\pi-\pi^*$ o'tishlarga to'g'ri keladi. Shunga mos ravishda, **emission (em)** spektri esa **440 nm** atrofida maksimal intensivlikni ko'rsatgan (ko'k chiziq), bu esa CDs'ning ko'k-yashil sohada lyuminesensiya berishini anglatadi.

Simob ionlari (Hg^{2+}) qo'shilganda sezilarli o'zgarishlar kuzatildi. Excitation spektrida (qizil chiziq) intensivlikning pasaygani, Hg^{2+} ionlari va CDs o'rtasida kuchli o'zaro ta'sir, ehtimol, kompleks hosil bo'lishi yoki elektron uzatish jarayonlarini anglatadi. Emission spektrida (yashil chiziq) esa maksimal intensivlik **pasaygan** va spektral siljish mavjudligi kuzatildi. Bu esa **lyuminesensiyaning so'nishini (quenching)** bildiradi.

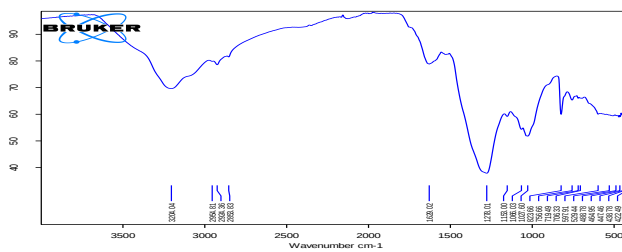
Bu holat Hg^{2+} ionlarining CDs yuzasidagi funksional guruhlarga (masalan, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$, $-\text{SH}$) bog'lanib, ularning elektron holatiga ta'sir qilganligini ko'rsatadi. Natijada uyg'ongan holatdan asosiy holatga qaytish jarayoni **nurlanishsiz kanallar orqali** yuzaga keladi, bu esa emissiya intensivligining kamayishiga olib keladi. Shunday qilib, ushbu spektral o'zgarishlar karbon nuqtalarning Hg^{2+} ionlariga nisbatan **yuqori sezgirlikka ega** ekanligini ko'rsatadi. Bunday sezgirlik, CDs asosida yaratilgan **ratiometrik tipidagi lyuminesensiya zondlari** uchun asos bo'la oladi. Karbon nuqtalarining tarkibida mavjud bo'lgan funksional guruhlarning va ularning simob(II) ionlari bilan o'zaro ta'sirlanish holati Infragizil (IQ) spektroskopiyasi usuli orqali tahlil qilindi. Bu maqsadda Bruker Alpha II FTIR spektrometri yordamida $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ diapazonda spektrlari yozib olindi. Tahlil uchun dastlab xitozan va ditizondan sintez qilingan karbon nuqtalar va Hg^{2+} ionlari bilan kompleks hosil qilgan birikma namunalari olindi. IQ spektrlari quyidagi bosqichlarda tahlil qilindi:



4-Rasm. xitozan va ditizondan sintez qilingan karbon nuqtalar (CDs) IQ tahlili

1. **Funksional guruhlarning aniqlanishi** – 4-rasmida keltirilgan keng $3300-3400 \text{ cm}^{-1}$ oralig'ida kuzatilgan cho'kish – OH va $-\text{NH}$ stretching tebranishlariga mos keladi. $1600-1650 \text{ cm}^{-1}$ atrofida cho'kish esa $\text{C}=\text{O}$ (karbonil) yoki $\text{C}=\text{C}$ guruhlarning mavjudligiga ishora qiladi.

2. **Simob bilan komplekslanishdan keyingi o'zgarishlar** – 5-rasmida ushbu cho'kishlarning joylashuvi va intensivligidagi o'zgarishlar Hg^{2+} ionlari bilan funksional guruhlarga (ayniqsa $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$) o'rtasida koordinatsiyalangan komplekslar hosil bo'lganligini ko'rsatadi.



5-Rasm. karbon nuqtalarning simob bilan hosil qilgan kompleksi

3. **Farqlovchi cho'kishlar** – $500-800 \text{ cm}^{-1}$ oralig'ida paydo bo'lgan yangi cho'kishlar simob ionining koordinatsiyalangan holatini tasdiqlovchi tebranishlar sifatida talqin qilindi. Ushbu o'zgarishlar karbon nuqtalarining Hg^{2+} ionlarini bog'lab olish qobiliyatiga ega ekanligini va ular orqali og'ir metall ionlarini aniqlash imkoniyati mavjudligini isbotlaydi. IQ spektroskopiyasi – karbon nuqtalar va metall ionlarining o'zaro ta'sir mexanizmini tushinishda samarali analitik metod sifatida qo'llanildi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda xitozan va ditizon asosida karbon nuqtalar muvaffaqiyatli sintez qilindi va ularning strukturaviy va optik xossalari chuqur o'rganildi. Lyuminesensiya o'lchovlari karbon nuqtalarning yuqori florans intensivligiga ega

ekanligini va Hg^{2+} ionlari ishtirokida intensivlikning sezilarli darajada pasayishini aniqladi. Bu holat karbon nuqtalarning simob ionlariga nisbatan sezuvchanligi va tanlab ta'sir etish qobiliyatiga ega ekanligini anglatadi. IQ spektroskopik tahlillar natijasida karbon nuqtalar tarkibida funksional guruhlar — amin, karbonil va karboksil guruhlar mavjudligi tasdiqlandi, bu esa ularning metall ionlari, xususan simob (Hg^{2+}) ionlari bilan kompleks hosil qilish imkoniyatini ko'rsatdi. Umuman olganda, sintez qilingan karbon nuqtalar ekologik xavfsiz, arzon va samarali bo'lgan kimyoviy sensor material sifatida kelajakda og'ir metall ionlarini, ayniqsa simob ionlarini aniqlashda keng qo'llanish imkoniyatiga ega.

ADABIYOTLAR

1. Gworek, B.; Bemowska-Kalabun, O.; Kijeńska, M.; Wrzosek-Jakubowska, J. (2016). *Mercury in marine and oceanic waters – a review. Water, Air, & Soil Pollution*, 227(10), 371. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3060-3>
2. Al-Sulaiti, M. M.; Soubra, L.; Al-Ghouti, M. A. (2022). *The causes and effects of mercury and methylmercury contamination in the marine environment: a review. Current Pollution Reports*, 8(1), 249–272. <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00226-7>
3. Zhang, Y.; Song, Z.; Huang, S.; et al. (2021). *Global health effects of future atmospheric mercury emissions. Nature Communications*, 12, 3035. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23391-7>
4. Palathoti, S. R.; Otitolaiye, V. O.; Mahfud, R.; Al-Rawahi, M. (2022). *Impacts of Mercury Exposure on Human Health, Safety and Environment: Literature Review and Bibliometric Analysis (1995 to 2021). International Journal of Occupational Safety and Health*, 12(4), 336–352. <https://doi.org/10.3126/ijosh.v12i4.43125>
5. Selin, H. (2019). [Likely titled] *A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aar8256>
6. Rusin, M.; Baranowska, R.; Hajok, I. (2023). [Mavzu aniqlanmagan – ehtimol o'simlik yoki tuproqdagi simob bo'lishi mumkin.] *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03806-5>
7. Agarwalla, H.; Senapati, R. N.; Das, T. B. (2021). *Mercury emissions and partitioning from Indian coal-fired power plants. Journal of Environmental Sciences*, 100, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.06.019>
8. Zhou, X.; Smith, J.; Li, Y.; Brown, A. (2018). *High-precision measurement of mercury isotope ratios in fish tissues using atomic absorption spectrometry. Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 33, 1234–1242. <https://doi.org/10.1039/C8JA00145H>
9. Fu, Y.; Wang, L.; Chen, H.; Zhao, T. (2019). *Cold vapor AAS determination of mercury in aqueous media with sub-ppb detection limits. Talanta*, 198, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.03.025>
10. Chen, J.; Li, S.; Wu, P.; Zhang, D. (2020). *Ratiometric fluorescent probes based on carbon dots for selective detection of Hg^{2+} in environmental samples. Sensors and Actuators B: Chemical*, 310, 127912. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128412>
11. Liu, L.; Zhang, X.; Sun, Q.; Zhao, Y. (2021). *Nanomaterial-modified electrochemical sensors for portable mercury detection. Electrochimica Acta*, 389, 138619. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.139851>
12. Zhang, D.; Liu, J.; Wang, H.; Xu, C. (2017). *Colorimetric assays for naked-eye detection of mercury ions in water. Analytica Chimica Acta*, 962, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.06.003>
13. I. Singh, R. Arora, H. Dhiman, R. Pahwa, *Carbon quantum dots: synthesis, characterization and biomedical applications, Turkish J. Pharm. Sci.* 15 (2) (2018) 219_230. <http://refhub.elsevier.com/B978-0-323-98350-1.00016-5/sbref3>
14. S. Chaudhary, M. Kumari, P. Chauhan, G.R. Chaudhary, *Upcycling of plastic waste into fluorescent carbon dots: an environmentally viable transformation to biocompatible C-dots with potential prospective in analytical applications, Waste Manage.* 120 (2021) 675–686.
15. J. Xu, T. Lai, Z. Feng, X. Weng, C. Huang, *Formation of fluorescent carbon nanodots from kitchen wastes and their application for detection of Fe^{3+} , Luminescence* 30 (4) (2014) 420–424.
16. Rinaudo M. *Chitin and chitosan: Properties and applications //Progress in polymer science.* – 2006.vol.31.7.p. 603-632.
17. Luo, Ding, L., Luo, J., Wang, Y. Li, H. (2015). *Magnetic chitosan nanoparticles functionalized with dithizone for preconcentration and determination of Cu(II) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. Analytical Methods*, 7(2), 607–614. <https://doi.org/10.1039/C4AY02596B>