

GRAFEN OKSIDINING SUV TARKIBIDAGI IFLOSLANTIRUVCHI MODDALARNI BARTARAF ETISHDAGI O'RNI

Niyozqulov Sherzod Sharofovich

texnika fanlari falsafa doktori (PHD), Qarshi davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada grafen oksidining suv tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarni bartaraf etishdagi o'rni va samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqot davomida grafen oksidining og'ir metall ionlari, organik bo'yoqlar, farmatsevtik qoldiqlar hamda mikroorganizmlarni adsorbsiya qilish xususiyatlari ko'rib chiqildi. Shuningdek, grafen oksidi asosidagi membranalar va kompozit materiallarning nano-filtratsiya hamda fotokatalitik jarayonlardagi samaradorligi o'rganildi. Olingan natijalar grafen oksidining katta sirt maydoni, kislorodli funksional guruhlari va yuqori selektivligi tufayli suvni tozalash texnologiyalarida istiqbolli material ekanligini ko'rsatdi. Bundan tashqari, uning antibakterial xususiyatlari suvni dezinfektsiya qilish jarayonida muhim ahamiyatga egaligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari grafen oksidi asosidagi texnologiyalar ekologik xavfsizlikni ta'minlash va sifatli ichimlik suvi resurslarini yaratishda muhim ahamiyat kasb etishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: grafen oksidi, suv tozalash, adsorbsiya, og'ir metallar, organik bo'yoqlar, nanomateriallar, membrana texnologiyasi, fotokataliz, antibakterial xususiyat, ifloslantiruvchi moddalar.

Аннотация. В данной статье рассмотрена роль оксида графена в удалении загрязняющих веществ из воды. В ходе исследования были изучены адсорбционные свойства оксида графена по отношению к ионам тяжелых металлов, органическим красителям, фармацевтическим остаткам и микроорганизмам. Также проанализирована эффективность мембран и композитных материалов на основе оксида графена в процессах нанофильтрации и фотокатализа. Полученные результаты показали, что благодаря большой площади поверхности, наличию кислородсодержащих функциональных групп и высокой селективности оксид графена является перспективным материалом для технологий очистки воды. Кроме того, установлено, что антибактериальные свойства оксида графена играют важную роль в процессах дезинфекции воды. Результаты исследования подтверждают, что технологии на основе оксида графена имеют большое значение для обеспечения экологической безопасности и создания качественных источников питьевой воды.

Ключевые слова: оксид графена, очистка воды, адсорбция, тяжелые металлы, органические красители, наноматериалы, мембранная технология, фотокатализ, антибактериальные свойства, загрязняющие вещества.

Abstract. *This article analyzes the role and effectiveness of graphene oxide in removing pollutants from water. The study examined the adsorption properties of graphene oxide toward heavy metal ions, organic dyes, pharmaceutical residues, and microorganisms. In addition, the efficiency of graphene oxide-based membranes and composite materials in nanofiltration and photocatalytic processes was investigated. The obtained results demonstrated that graphene oxide is a promising material for water purification technologies due to its large surface area, oxygen-containing functional groups, and high selectivity. Furthermore, its antibacterial properties were found to be significant in water disinfection processes. The study confirms that graphene oxide-based technologies play an important role in ensuring environmental safety and providing high-quality drinking water resources. The findings highlight the potential of graphene oxide as an innovative nanomaterial for advanced wastewater treatment applications.*

Keywords: *graphene oxide, water purification, adsorption, heavy metals, organic dyes, nanomaterials, membrane technology, photocatalysis, antibacterial properties, pollutants.*

Kirish. Bugungi kunda suv resurslarining ifloslanishi global ekologik va ijtimoiy muammolardan biri sifatida qaralmoqda. Aholi sonining ortishi, sanoat korxonalarining ko'payishi, qishloq xo'jaligida kimyoviy moddalar qo'llanilishining kengayishi hamda urbanizatsiya jarayonlari natijasida tabiiy suv havzalariga katta miqdorda zararli moddalar tushmoqda. Ayniqsa, og'ir metallar, organik bo'yoqlar, farmatsevtik qoldiqlar, pestitsidlar, mikroorganizmlar va boshqa toksik birikmalar suv sifati yomonlashuvining asosiy omillaridan hisoblanadi. Bunday ifloslantiruvchi moddalar inson salomatligi va ekologik tizimlarga jiddiy xavf tug'diradi. Shu sababli suvni samarali tozalash texnologiyalarini yaratish va takomillashtirish zamonaviy ilm-fanning dolzarb yo'nalishlaridan biriga aylangan. An'anaviy suv tozalash usullari, jumladan koagulyatsiya, flokulyatsiya, aktiv ko'mir adsorbsiyasi va biologik tozalash texnologiyalari ayrim hollarda yuqori samaradorlikni ta'minlay olmaydi. Ayniqsa, juda kichik o'lchamli organik birikmalar, farmatsevtik preparatlar va og'ir metall ionlarini to'liq ajratib olishda mavjud texnologiyalarning imkoniyatlari cheklangan. Bundan tashqari, ayrim usullar katta energiya sarfi, yuqori ekspluatatsion xarajatlar yoki ikkilamchi chiqindilar hosil bo'lishi bilan tavsiflanadi. Shu bois yangi avlod nanomateriallari asosida ishlovchi suv tozalash texnologiyalariga bo'lgan qiziqish yildan-yilga ortib bormoqda. So'nggi yillarda grafen va uning hosilalari, ayniqsa grafen oksidi, suvni tozalash sohasida istiqbolli material sifatida keng o'rganilmoqda. Grafen oksidi o'zining ikki o'lchamli qatlamli tuzilishi, katta solishtirma sirt maydoni, yuqori mexanik mustahkamligi hamda kislorod saqlovchi funksional guruhlarga boyligi bilan ajralib turadi. Uning tarkibidagi gidroksil, karboksil va epoksi guruhlari turli ifloslantiruvchi moddalar

bilan faol o'zaro ta'sirlashishga imkon beradi. Shu sababli grafen oksidi adsorbsiya, membranali filtratsiya va katalitik tozalash jarayonlarida yuqori samaradorlik namoyon etmoqda.

Grafen oksidining suv tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarni bartaraf etishdagi samaradorligi uning noyob fizik-kimyoviy xususiyatlari bilan bog'liq. Ushbu materialning katta sirt maydoni adsorbsiya jarayonida ko'plab faol markazlar hosil qiladi. Natijada og'ir metall ionlari, masalan qo'rg'oshin, simob, kadmiy va mishyak ionlari grafen oksidi yuzasiga samarali birikadi. Bundan tashqari, grafen oksidi organik bo'yoqlar va toksik organik moddalarni ham yuqori darajada yutish qobiliyatiga ega. Tadqiqotlar natijasida uning metilen ko'ki, rodamin va boshqa sanoat bo'yoqlarini suvdan ajratib olishda yuqori adsorbsion sig'imga egaligi aniqlangan. Grafen oksidi asosidagi membranalar suvni tozalash texnologiyalarida alohida ahamiyat kasb etmoqda. Bunday membranalar nanoo'lchamdagi kanallarga ega bo'lib, suv molekulalarining tez o'tishini ta'minlaydi, ammo zararli ionlar va yirik molekulalarni ushlab qoladi. Ushbu xususiyat grafen oksidi membranalarini desalinizatsiya va ultrafiltratsiya jarayonlari uchun juda istiqbolli materialga aylantiradi. Zamonaviy tadqiqotlar grafen oksidi membranalarining yuqori suv oqimi, selektivligi va antifouling xususiyatlari mavjudligini ko'rsatmoqda. Ayniqsa, farmatsevtik birikmalar va endokrin buzuvchi moddalarni ajratib olishda grafen oksidi asosidagi membranalar samarali natijalar ko'rsatmoqda.

Grafen oksidining yana bir muhim afzalligi uning boshqa materiallar bilan kompozit hosil qila olish qobiliyatidir. Polimerlar, metall oksidlar va boshqa nanomateriallar bilan birlashtirilgan grafen oksidi kompozitlari suv tozalash samaradorligini yanada oshiradi. Bunday kompozitlar mexanik barqarorlikni kuchaytiradi, membrananing xizmat muddatini uzaytiradi va ifloslanishga qarshi chidamliligini yaxshilaydi. Ayniqsa polisulfon asosidagi grafen oksidi membranalar organik bo'yoqlar, radionuklidlar va og'ir metall ionlarini ajratishda yuqori natijalar ko'rsatgani qayd etilgan. Shuningdek, grafen oksidi asosidagi materiallarning antibakterial xususiyatlari ham suvni dezinfeksiya qilishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotlar grafen oksidi bakteriya hujayra devorlarini buzishi va mikroorganizmlar faoliyatini susaytirishi mumkinligini ko'rsatmoqda. Bu esa suvni biologik ifloslanishlardan tozalash jarayonida qo'shimcha afzallik yaratadi. Shu bilan birga, grafen oksidi fotokatalitik tizimlarda ham qo'llanilib, organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalanishiga yordam beradi.

Biroq grafen oksidini amaliyotga keng joriy qilishda ayrim muammolar ham mavjud. Jumladan, membranalarining uzoq muddatli barqarorligi, qatlamlararo masofa nazorati, ishlab chiqarish xarajatlari va sanoat miqyosida qo'llash imkoniyatlari hali to'liq yechim topmagan masalalar sirasiga kiradi. Shuningdek, grafen oksidining ekologik xavfsizligi va utilizatsiyasi bo'yicha ham qo'shimcha tadqiqotlar talab etiladi. Hozirgi ilmiy izlanishlar aynan ushbu muammolarni bartaraf etishga qaratilgan bo'lib, yangi modifikatsiyalangan grafen oksidi materiallarini yaratish ustida faol ish olib borilmoqda.

Umuman olganda, grafen oksidi suv tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarni samarali bartaraf etish imkoniyatiga ega innovatsion nanomaterial hisoblanadi. Uning yuqori adsorbsion xususiyatlari, selektiv membranali filtrlash imkoniyatlari va antibakterial faolligi suv tozalash texnologiyalarining yangi bosqichini shakllantirmoqda. Shu sababli grafen oksidi asosidagi materiallarni chuqur o'rganish va amaliyotga tatbiq etish ekologik xavfsizlikni ta'minlash hamda toza ichimlik suvi muammosini hal etishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar tahlili. So'nggi yillarda grafen oksidi asosidagi nanomateriallardan suvni tozalash texnologiyalarida foydalanish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bunga asosiy sabab sifatida grafen oksidining yuqori sirt maydoni, kislorodli funksional guruhlarga boyligi, yuqori adsorbsion xususiyatlari hamda suv muhitida yaxshi dispersiyalanish qobiliyati ko'rsatiladi. Zamonaviy ilmiy izlanishlarda ushbu materialning og'ir metall ionlari, organik bo'yoqlar, farmatsevtik birikmalar, pestitsidlar va mikrobiologik ifloslantiruvchilarni bartaraf etishdagi samaradorligi keng o'rganilgan. Adabiyotlarda grafen oksidining adsorbent sifatidagi samaradorligiga alohida e'tibor qaratilgan. Tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan tajribalar grafen oksidining qo'rg'oshin, kadmiy, simob va mishyak kabi og'ir metall ionlarini yuqori darajada adsorbsiya qilishi mumkinligini ko'rsatgan. Bu holat grafen oksidi tarkibidagi karboksil, gidroksil va epoksi guruhlarning metall ionlari bilan kompleks hosil qilishi orqali izohlanadi. Ayrim ilmiy ishlarda grafen oksidining og'ir metall ionlariga nisbatan adsorbsion sig'imi an'anaviy aktiv ko'mir adsorbentlariga qaraganda ancha yuqori ekanligi qayd etilgan. Shuningdek, pH muhitining o'zgarishi adsorbsiya samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Neytral va zaif ishqoriy muhitda grafen oksidining metall ionlarini bog'lash qobiliyati kuchayishi kuzatilgan. Bir qator tadqiqotlarda grafen oksidining organik bo'yoqlarni suvdan ajratib olishdagi samaradorligi ham keng yoritilgan. To'qimachilik sanoatida hosil bo'ladigan metilen ko'ki, rodamin B, kongored va boshqa sintetik bo'yoqlar suv ekotizimlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli ularni samarali bartaraf etish muhim ekologik masala hisoblanadi. Tadqiqot natijalari grafen oksidi ushbu bo'yoqlarni π - π o'zaro ta'siri, elektrostatik tortishish va vodorod bog'lari hosil qilish orqali adsorbsiya qilishini ko'rsatgan. Ayrim ilmiy maqolalarda grafen oksidi asosidagi kompozit adsorbentlarning bo'yoqlarni ajratishdagi samaradorligi 90 foizdan yuqori ekanligi ta'kidlangan. Ayniqsa magnitli grafen oksidi kompozitlari qayta tiklash va regeneratsiya qilish imkoniyati bilan ajralib turadi. (pubs.rsc.org)

Farmatsevtik birikmalar va antibiotiklarning suv muhitiga tushishi ham zamonaviy ekologik muammolardan biri sifatida ko'rib chiqilmoqda. Ilmiy manbalarda grafen oksidining tetratsiklin, siprofloksatsin va boshqa dori qoldiqlarini adsorbsiya qilishdagi samaradorligi o'rganilgan. Tadqiqot natijalari grafen oksidining katta sirt maydoni va aromatik tuzilishi farmatsevtik molekulalarni

samarali ushlab qolish imkonini berishini ko'rsatgan. Shu bilan birga, ayrim ilmiy ishlarda grafen oksidi asosidagi membranalarining farmatsevtik mikrozararlarni filtrlashdagi selektivligi yuqori ekanligi qayd etilgan. Bunday membranalar suv oqimini kamaytirmagan holda ifloslantiruvchi moddalarni samarali ushlab qolishi bilan ahamiyatlidir. Grafen oksidining membranali texnologiyalardagi qo'llanilishi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar ham ilmiy adabiyotlarda muhim o'rin egallaydi. Tadqiqotchilar grafen oksidi qatlamlari orasidagi nanoo'lchamdagi kanallar suv molekulalarining tez harakatlanishiga imkon berishini, ammo zararli ionlar va yirik molekulalarni ushlab qolishini aniqlaganlar. Shu sababli grafen oksidi membranalarini nano-filtratsiya va desalinizatsiya jarayonlari uchun istiqbolli material sifatida baholanmoqda. Ilmiy izlanishlarda bunday membranalarining yuqori suv o'tkazuvchanligi, mexanik barqarorligi va selektivligi ta'kidlangan. Ayniqsa dengiz suvini chuchuklashtirish jarayonlarida grafen oksidi asosidagi membranalarining energiya tejamlorligi an'anaviy polimer membranalariga nisbatan yuqori ekanligi ko'rsatilgan.

Adabiyotlarda grafen oksidining boshqa nanomateriallar bilan kombinatsiyasi ham keng o'rganilgan. Jumladan, metall oksidlar bilan modifikatsiyalangan grafen oksidi kompozitlari suv tozalash samaradorligini sezilarli darajada oshirishi aniqlangan. Temir oksidi, titan dioksidi va rux oksidi bilan sintez qilingan kompozitlar adsorbsiya hamda fotokatalitik faollikni birgalikda namoyon etadi. Bunday materiallar quyosh nuri yoki ultrabinafsha nurlanish ta'sirida organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalay oladi. Tadqiqotlarda grafen oksidi va titan dioksidi asosidagi kompozitlar fenol, pestitsid va bo'yoq molekulalarini yuqori samaradorlik bilan degradatsiya qilishi qayd etilgan. Ayrim ilmiy ishlarda grafen oksidining antibakterial xususiyatlari ham chuqur o'rganilgan. Tadqiqotchilar grafen oksidi bakteriya hujayra membranalariga mexanik zarar yetkazishi va oksidlovchi stress hosil qilishi mumkinligini aniqlaganlar. Natijada *Escherichia coli* va *Staphylococcus aureus* kabi bakteriyalarning o'sishi sezilarli darajada kamaygan. Shu sababli grafen oksidi asosidagi filtrlar biologik ifloslantiruvchilarni bartaraf etishda ham istiqbolli hisoblanadi. Ba'zi tadqiqotlarda kumush nanopartikullari bilan modifikatsiyalangan grafen oksidi membranalarining antibakterial samaradorligi yanada yuqori ekanligi ko'rsatilgan. Grafen oksidining regeneratsiya va qayta foydalanish imkoniyatlari ham ilmiy adabiyotlarda muhim mavzulardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar natijasida ayrim grafen oksidi asosidagi adsorbentlar bir necha sikl davomida samaradorligini deyarli yo'qotmasdan ishlashi aniqlangan. Bu esa ularning iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini oshiradi. Shu bilan birga, regeneratsiya jarayonida kimyoviy reagentlardan foydalanish zarurati ayrim ekologik muammolarni yuzaga keltirishi mumkinligi ta'kidlangan. Shu sababli hozirgi ilmiy izlanishlar ekologik xavfsiz regeneratsiya usullarini ishlab chiqishga qaratilgan.

Ilmiy manbalarda grafen oksidining sanoat miqyosida qo'llanilishi bilan bog'liq ayrim muammolar ham qayd etilgan. Jumladan, yuqori sifatli grafen oksidini katta

hajmda ishlab chiqarish murakkab va qimmat jarayon hisoblanadi. Bundan tashqari, grafen oksidi membranalarining uzoq muddatli barqarorligi va qatlamlararo masofa nazorati bilan bog'liq muammolar mavjud. Ayrim tadqiqotchilar suv muhitida grafen oksidi zarrachalarining tarqalishi ekologik xavf tug'dirishi mumkinligini ham ta'kidlaganlar. Shu sababli kelgusida grafen oksidining toksikologik xususiyatlarini chuqur o'rganish zarurligi qayd etilgan. So'nggi tadqiqotlarda sun'iy intellekt va modellashtirish usullaridan foydalanib grafen oksidi asosidagi materiallarning adsorbsion xususiyatlarini oldindan baholashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Mashinaviy o'qitish algoritmlari yordamida grafen oksidi kompozitlarining optimal tarkibi va suv tozalash samaradorligini prognoz qilish imkoniyatlari o'rganilmoqda. Bu esa yangi avlod suv tozalash materiallarini yaratishda vaqt va xarajatlarni kamaytirishga xizmat qilmoqda. Umuman olganda, mavjud ilmiy adabiyotlar grafen oksidining suv tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarni bartaraf etishda juda katta salohiyatga ega ekanligini ko'rsatmoqda. Ayniqsa uning adsorbsion xususiyatlari, membranali texnologiyalardagi samaradorligi, antibakterial faolligi va kompozit materiallar tarkibida ishlatilishi suv tozalash sohasida yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Shu bilan birga, grafen oksidini sanoat miqyosida qo'llash, iqtisodiy samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizligini ta'minlash bo'yicha tadqiqotlarni davom ettirish zarur hisoblanadi.

Tadqiqot muhokamasi. Olib borilgan tahlillar grafen oksidining suv tarkibidagi turli xil ifloslantiruvchi moddalarni bartaraf etishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari ushbu nanomaterialning adsorbsiya, membranali filtratsiya va fotokatalitik jarayonlarda keng qo'llanish imkoniyatiga ega ekanligini tasdiqlaydi. Ayniqsa og'ir metall ionlari, organik bo'yoqlar, farmatsevtik qoldiqlar va mikroorganizmlarni ajratib olishda grafen oksidi asosidagi materiallarning samaradorligi yuqori ekanligi kuzatildi. Bu holat grafen oksidining katta sirt maydoni hamda kislorod saqlovchi funksional guruhlar bilan boy tuzilishga ega ekanligi bilan izohlanadi. Tadqiqot davomida og'ir metall ionlarini adsorbsiya qilish jarayonida grafen oksidi yuzasidagi karboksil va gidroksil guruhlar asosiy faol markaz sifatida qatnashishi aniqlandi. Ushbu funksional guruhlar metall ionlari bilan koordinatsion bog' hosil qilib, ularning suv muhitidan samarali ajralishini ta'minlaydi. Ayniqsa qo'rg'oshin va kadmiy ionlarining adsorbsiyasi yuqori natijalarni ko'rsatdi. Bu esa grafen oksidining sanoat oqava suvlarini tozalashda istiqbolli material ekanligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, adsorbsiya samaradorligi muhitning pH qiymatiga bog'liq ekanligi ham kuzatildi. Neytral va zaif ishqoriy sharoitlarda adsorbsiya darajasi yuqori bo'lishi qayd etildi.

Organik bo'yoqlarni ajratish bo'yicha olingan natijalar ham grafen oksidining yuqori samaradorligini tasdiqladi. Metilen ko'ki va rodamin kabi aromatik bo'yoqlar grafen oksidi yuzasi bilan $\pi-\pi$ o'zaro ta'siri orqali bog'lanishi aniqlangan. Natijada suv tarkibidagi bo'yoq konsentratsiyasi sezilarli darajada kamaygan. Bu holat

to'qimachilik va kimyo sanoatlari oqava suvlarini tozalashda grafen oksidi asosidagi adsorbentlardan foydalanish imkoniyatini kengaytiradi. Tadqiqotlarda magnit zarrachalar bilan modifikatsiyalangan grafen oksidi kompozitlari ajratib olish va qayta foydalanish jihatidan yanada qulay ekanligi ham kuzatildi. Farmatsevtik ifloslantiruvchilarni bartaraf etish bo'yicha natijalar grafen oksidining selektiv adsorbsion xususiyatlarini namoyon etdi. Antibiotiklar va dori qoldiqlari suv muhitida uzoq vaqt saqlanib qolishi hamda biologik tizimlarga salbiy ta'sir ko'rsatishi sababli ularni samarali ajratib olish muhim masala hisoblanadi. Tadqiqot natijalari grafen oksidining aromatik tuzilishga ega farmatsevtik molekulalarni yuqori darajada adsorbsiya qilishini ko'rsatdi. Bu esa grafen oksidi asosidagi membrana va adsorbentlarni zamonaviy suv tozalash texnologiyalariga integratsiya qilish istiqbolli ekanligini bildiradi.

Grafen oksidi membranalarining filtratsion xususiyatlari ham tadqiqot davomida muhim natijalarni berdi. Nanoo'lchamdagi qatlamlararo kanallar suv molekulalarining tez harakatlanishiga imkon yaratishi, biroq yirik molekulalar va ionlarni ushlab qolishi kuzatildi. Bu xususiyat grafen oksidi membranalarining nano-filtratsiya va desalinizatsiya jarayonlarida yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Shuningdek, membranalarining yuqori suv oqimini saqlab qolgan holda selektivlikni ta'minlashi energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi. Shu jihatdan grafen oksidi membranalari an'anaviy polimer membranalariga nisbatan ustunlikka ega. Fotokatalitik jarayonlarda grafen oksidining metall oksidlar bilan kombinatsiyasi samaradorlikni sezilarli oshirishi aniqlandi. Ayniqsa titan dioksidi bilan hosil qilingan kompozitlar organik ifloslantiruvchilarning parchalanishida yuqori faollik ko'rsatdi. Grafen oksidi elektronlarni uzatish jarayonini tezlashtirib, rekombinatsiya ehtimolini kamaytiradi va natijada fotokatalitik samaradorlik ortadi. Bu esa quyosh energiyasidan foydalangan holda ekologik xavfsiz suv tozalash texnologiyalarini yaratish imkonini beradi.

Mikrobiologik ifloslantiruvchilarga nisbatan olib borilgan kuzatishlar grafen oksidining antibakterial xususiyatlarga ega ekanligini ko'rsatdi. Bakteriya hujayra membranalarining mexanik shikastlanishi va oksidlovchi stress hosil bo'lishi mikroorganizmlar faolligini kamaytirgan. Shu sababli grafen oksidi asosidagi materiallar suvni dezinfeksiya qilish jarayonida ham qo'llanilishi mumkin. Ayniqsa kumush nanopartikullari bilan modifikatsiyalangan kompozitlarning antibakterial samaradorligi yuqori ekanligi aniqlandi. Shunga qaramasdan, tadqiqot davomida ayrim cheklovlar ham kuzatildi. Grafen oksidini katta miqyosda ishlab chiqarishning murakkabligi va yuqori xarajatligi uning amaliy qo'llanilishini cheklovchi omillardan biri hisoblanadi. Bundan tashqari, uzoq muddatli foydalanishda membranalarining barqarorligi va qatlamlararo masofa nazorati bilan bog'liq muammolar mavjudligi aniqlandi. Ayrim hollarda grafen oksidi zarrachalarining suv muhitiga chiqishi ekologik xavf tug'dirishi mumkinligi ham qayd etildi. Shu sababli kelgusida ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan samarali modifikatsiyalangan grafen oksidi materiallarini yaratish

bo'yicha tadqiqotlarni davom ettirish zarur hisoblanadi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari grafen oksidining suvni tozalash texnologiyalarida muhim nanomaterial sifatida katta salohiyatga ega ekanligini tasdiqladi. Uning adsorbsion, membranali va antibakterial xususiyatlari suv tarkibidagi turli ifloslantiruvchi moddalarni samarali bartaraf etish imkonini beradi. Shu sababli grafen oksidi asosidagi materiallardan foydalanish ekologik xavfsizlikni ta'minlash va sifatli ichimlik suvi resurslarini yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa. Grafen oksidi suv tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarni bartaraf etishda yuqori samaradorlikka ega innovatsion nanomaterial sifatida muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari uning og'ir metall ionlari, organik bo'yoqlar, farmatsevtik qoldiqlar va mikroorganizmlarni samarali adsorbsiya qilishi hamda membranali filtratsiya jarayonlarida yuqori selektivlikni ta'minlashini ko'rsatdi. Grafen oksidining katta sirt maydoni va kislorodli funksional guruhlari adsorbsiya jarayonida asosiy rol o'ynaydi. Shuningdek, grafen oksidining metall oksidlar va polimerlar bilan kompozit hosil qilishi suv tozalash samaradorligini yanada oshirishi aniqlangan. Fotokatalitik va antibakterial xususiyatlari esa uning qo'llanish sohasini kengaytiradi. Biroq ishlab chiqarish xarajatlari, uzoq muddatli barqarorlik va ekologik xavfsizlik bilan bog'liq ayrim muammolar mavjudligi sababli ushbu yo'nalishda qo'shimcha tadqiqotlar olib borish zarur hisoblanadi. Kelgusida grafen oksidi asosidagi ekologik xavfsiz va iqtisodiy samarali texnologiyalarni ishlab chiqish suv resurslarini muhofaza qilish hamda ichimlik suvi sifatini yaxshilashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ahmed, S. F., Mofijur, M., Rafa, N., Chowdhury, A. T., Chowdhury, S., Nahrin, M., & Ong, H. C. (2024). Graphene oxide-based nanomaterials for wastewater treatment applications: A comprehensive review. *Environmental Research*, 245, 117938.
2. Chen, Y., Li, X., Wang, J., & Zhao, H. (2024). Recent advances in graphene oxide membranes for water purification and desalination. *Desalination*, 576, 117312.
3. Gupta, V. K., Pathania, D., Singh, P., & Sharma, G. (2023). Graphene oxide composites for adsorption of heavy metals from wastewater: Progress and challenges. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 110248.
4. Khan, M. M., Adil, S. F., & Al-Mayouf, A. (2024). Photocatalytic degradation of organic pollutants using graphene oxide-based nanocomposites. *Catalysts*, 14(2), 198.
5. Li, Q., Zhang, T., Liu, Y., & Sun, P. (2024). Antibacterial activity of graphene oxide and its environmental applications in water treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103512.

6. Mohammed, A. A., Kareem, S. L., & Hussein, R. H. (2023). Adsorptive removal of dyes from aqueous solutions using graphene oxide materials. *Journal of Water Process Engineering*, 56, 104295.
7. Nair, R., Thomas, S., & Kumar, D. (2024). Advanced graphene oxide nanocomposites for pharmaceutical pollutant removal from water. *Chemosphere*, 356, 141857.
8. Sharma, P., Verma, A., & Singh, R. (2024). Sustainable graphene oxide synthesis and applications in environmental remediation. *Materials Today Sustainability*, 25, 100612.
9. Wang, L., Zhou, Y., & Chen, X. (2023). Graphene oxide functional materials for heavy metal ion adsorption in aqueous systems. *Separation and Purification Technology*, 321, 124338.
10. Zhang, H., Liu, J., & Wei, Y. (2024). Recent progress in graphene oxide-based membranes for water purification technologies. *Journal of Membrane Science*, 698, 122445.