

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.К.01.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

СИДРАСУЛИЕВА ГОЗЗАЛ БЕКБЕРГЕНОВНА

C_3N_x таркибли нанозаррачаларнинг физик-кимёвий хоссалари

02.00.04 – Физик кимё (кимё фанлари)

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

**Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
химическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on chemical
sciences**

| | |
|---|----|
| Сидрасулиева Гоззал Бекбергеновна C ₃ N _x таркибли нанозарраларнинг физик-кимёвий хоссалари | 3 |
| Сидрасулиева Гоззал Бекбергеновна Физико-химические свойства наночастиц состава C ₃ N _x | 21 |
| Sidrasulieva Gozzal Bekbergenovna Physicochemical properties of C ₃ N _x nanoparticles | 39 |
| Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works | 42 |

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.К.01.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

СИДРАСУЛИЕВА ГОЗЗАЛ БЕКБЕРГЕНОВНА

**C_3N_x ТАРКИБЛИ НАНОЗАРРАЛАРНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ
ХОССАЛАРИ**

02.00.04 – Физик кимё (кимё фанлари)

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.2.PhD/К392 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Миллий университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) веб-саҳифа ik-kimyo.nuu.uz манзилига ҳамда «ZiyoNET» ахборот-таълим портали www.ziyounet.uz манзилига жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Каттаев Нуриддин Тўраевич
кимё фанлари доктори, доцент

**Расмий
оппонентлар:**

Рўзимурадов Олим Нарбекович
кимё фанлари доктори, профессор

Сидиков Абдужалол
кимё фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Умумий ва ноорганик кимё институти

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги 03/30.12.2019.К.01.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил « 29 » январь соат 11⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент, Университет кўчаси, 4-уй. Тел.: (99871)227-12-24, факс: (99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: chem0102@mail.ru.

Диссертация билан Ўзбекистон Миллий университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (8-рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: (100174, Тошкент, Университет кўчаси, 4 уй. Тел: (+99871) 246-67-71.

Диссертация автореферати 2022 йил « 17 » январда тарқатилди.
(2022 йил « 17 » январдаги 3 – рақамли реестр баённомаси).

**А.З. Сманова**
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш раиси к.ф.д., профессор

Д.А. Гафурова
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш котиби к.ф.д.

М.Г. Мухамедиев
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар
раиси к.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда ультрабинафша ва кўринадиган нур соҳасида фаол бўлган графитсимон углерод нитридининг турли аллотропик шакллари истиқболли “металлсиз” фотокатализаторлар сифатида органик ифлослантирувчиларни парчалаш, водород ажралиб чиқиш реакцияси (HER), энергияни сақлаш, электроника, CO₂ ни углеводородларгача фотокаталитик тиклаш ва бошқа соҳаларда кенг қўлланилмоқда.

Жаҳонда бугунги кунда кўринадиган нур соҳасида фотокаталитик фаоллашадиган ярим ўтказгичли графитсимон углерод нитриди (g-C₃N₄)ни олиш шароитлари, функционаллаштириш ва таъқиқланган соҳа кенглигини камайтириш, термик барқарорлигини ошириш ва фотокаталитик хоссаларини яхшилаш ҳамда g-C₃N₄ асосида янги композитлар ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шу туфайли наноўлчамли графитсимон g-C₃N₄ ва g-C₃N₄ композитлари асосидаги фотокатализаторларнинг структуравий дизайни ҳамда физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ этиш катта аҳамият касб этади.

Республикамызда экологик ва атроф-муҳит муҳофазаси билан боғлиқ муаммоларни бартараф этишда қатор афзалликларга (безарар, тежамкор, экологик тоза, қайта тикланадиган ва ярим ўтказгичли хоссаларга) эга “яшил” материалларини яратиш борасида муҳим натижаларга эришилмоқда. Жумладан, янги турдаги наногибридли композициялар, фотокатализаторлар, наноўлчамли сенсорлар ва датчиклар, сорбентлар ва бошқалар олинган. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида¹ “принципиал жиҳатдан янги маҳсулот ва технология турларини ўзлаштириш, шу асосда ички ва ташқи бозорларда миллий товарларнинг рақобатбардошлигини таъминлаш” борасида муҳим вазифалар белгилаб берилган. Шу сабабли графитсимон углерод нитридининг хоссалари яхшиланган ва кўринувчан нур соҳасида фотокаталитик фаол бўлган наноўлчамли модификациялари ва композитларини олиш ҳамда физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ этиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2021 йил 9 апрелдаги ПҚ-5063-сон «Ўзбекистон Республикасида қайта тикланувчи ва водород энергетикасини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида» ва 2020 йил 12 августдаги ПҚ-4805-сон «Кимё ва биология йўналишларида узлуксиз таълим сифатини ва илм фан натижадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари, шунингдек, мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февральдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. «Кимё технологиялари ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунёда углерод нитриднинг термодинамик жиҳатдан барқарор фазаси ва графит сингари Ван-дер-Ваальс кучлари орқали ўзаро боғланган моноатом қалинлигидаги қаватлардан иборат графитсимон углерод нитриди ($g\text{-C}_3\text{N}_4$) ва унинг ҳосилалари синтези бўйича тадқиқотлар олиб бормоқдалар. Таъқиқланган соҳа кенглиги ~ 2.70 эВ бўлгани сабабли $g\text{-C}_3\text{N}_4$ кўринадиган соҳадаги нур ёрдамида фаоллашадиган фотокаталитик жараёнларда: сувни тозалаш, водородни генерациялаш ва карбонат ангидриддан углеводородлар синтез қилишда қўлланилган (Т. Komatsu (Япония), Jens-Oliver Müller, Arne Thomas (Германия), Wee-Jun Ong, Lling-Lling Tan, Siek-Ting Yong (Малайзия), Yun Hau Ng (Австралия), Jinnan Liang, Xiaohong Yang, Yan Wang, Peng He, Xiaodong Zhang, Xiao Xie, Hui Wang (Хитой) M. Elshafie, S.A. Younis, E.A.M. Gad (Миср), P. Serp (Франция).

Мустақил давлатлар ҳамдўстлиги олимлари томонидан $g\text{-C}_3\text{N}_4$ нинг фотокаталитик фаоллигини таъқиқланган соҳа кенглигини камайтирувчи допирловчи кўшимчалар, жумладан, кислород кўшиш орқали кучайтириш мумкинлиги кўрсатиб берилган (Н.М. Денисов, Е.Б. Чубенко, В.П. Бондаренко, В.Е. Борисенко (Белоруссия), А.Б. Богомолов, С.А. Кулаков, П.В. Зинин, В.А. Кутвицкий, М.Ф. Булатов (Россия), М.Э. Бондаренко, П.М. Силенко, Ю.М. Солонин (Украина).

Ўзбекистонда фотокатализаторлар соҳаси нисбатан янги йўналиш бўлиб, бу борада, асосан, титан оксиди (TiO_2) ва унинг гибрид композитлари хоссаларини ўрганиш бўйича О.Н. Рўзимурадов, С.Э. Нурмонов, З.Ч. Кадилова, Х.И. Акбаров, Н.Т. Каттаевларнинг илмий ишларини келтириш мумкин.

Графитсимон углерод нитридининг хоссаларини яхшилиш ва унинг композитлари синтези, физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш бўйича илмий изланишлар олиб бориш ҳам илмий, ҳам амалий жиҳатдан муҳим ҳисобланади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университетининг илмий тадқиқот ишлари режасининг ОТ-Ф-7-52-сонли «Турли табиатли органик ва ноорганик моддаларнинг таъсирлашиш қонуниятлари ва реакцион қобилияти ҳамда берилган комплекс хоссали янги бирикмалар олиш» (2017-2020 йй.) фундаментал лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кислород билан допирланган наноўлчамли графитсимон углерод нитридларининг структуравий дизайни ва физик-кимёвий хоссаларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқот вазифалари қуйидагилардан иборат:

g-C₃N₄ синтези ва физик-кимёвий хоссалари тадқиқи соҳасининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш;

кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅ ва O-g-C₃N₅@AgCl композитини синтез қилиш;

синтез қилинган ҳажмли материаллардан O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅ ва O-g-C₃N₅@AgCl композитининг нанозаррачалари олиш;

кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅ ва O-g-C₃N₅@AgCl композитининг сирти морфологиясини ва структуравий хоссаларини тадқиқ этиш;

кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅ ва O-g-C₃N₅@AgCl композитининг электрон тузилишини ўрганиш;

синтез қилинган материалларнинг родамин Б ва тупроқдаги пестицидларни фотокаталитик парчалаш реакцияларида қўллаш имкониятларини ўрганиш.

Тадқиқот объекти сифатида O-g-C₃N_x таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N₅@AgCl композити олинган.

Тадқиқотнинг предмети O-g-C₃N_x таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N₅@AgCl композитининг структуравий ва ўлчам хусусиятлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида изотермик адсорбция, УБ-қўринадиган нур соҳаси ва Фурье-ИҚ-спектроскопияси, рентгенфазавий анализ, термик анализ (ТГ, ДТГ, ДСК), электрон микроскопия (СЭМ), атом-кучланишли микроскопия (АСМ), нурнинг динамик сочилиши (НДС) усули, нурнинг диффузион қайтарилиш спектроскопия (ДҚС), замонавий компьютерда моделлаштириш (DFT) усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

термик поликонденсациялаш усули ёрдамида қўринадиган нур соҳасида фаол бўлган O-g-C₃N_x таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N₅@AgCl композити синтез қилинган;

ҳажмли материалларни ультратовуш билан диспергациялаш усули ёрдамида O-g-C₃N_x таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N₅@AgCl композитининг наноўлчамли заррачалари олинган;

O-g-C₃N_x таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N₅@AgCl композити сирти морфологияси, структуравий ва ўлчам хусусиятлари аниқланган;

нурнинг диффузион қайтарилиш (НДҚ) усули ёрдамида олинган янги материалларнинг электрон тузилиши ва яримўтказгичли хоссалари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

қуёш нури таъсирида фотокаталитик фаол $O-g-C_3N_x$ таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва $O-g-C_3N_5@AgCl$ композитини қулай ва арзон усулда олиш имконияти аниқланган;

янги ва экологик тоза ҳажмли ҳамда наноўлчамли материаллар фотокаталитизаторлар сифатида қуёш нури таъсирида оқова сувлардаги органик поллютантлар ва тупроқдаги пестицидларни парчалаши аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги асосий илмий ҳолатлар ва ҳулосаларнинг изотермик адсорбция, УВ-қўринадиган нур соҳаси ва Фурье-ИҚ-спектроскопияси, рентгенфазавий анализ, термик анализ (ТГ, ДТГ, ДСК), сканирловчи электрон микроскопия (СЭМ), атом-кучланишли микроскопия (АСМ), нурнинг динамик сочилиши усули (НДС), нурнинг диффузион қайтарилыш спектроскопияси (НДҚС), замонавий компьютерда моделлаштириш (DFT) каби замонавий тадқиқот усулларидадан фойдаланиб асослангани билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ярим ўтказгич ва фотокаталитик хоссалари яхшиланган ҳажмли ва наноўлчамли кислород билан допирланган $O-g-C_3N_x$ таркибли графитсимон углерод нитридлари ва $O-g-C_3N_5@AgCl$ композитини олиш шароитларининг аниқлангани билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти экология ва атроф-муҳит муҳофазаси муаммоларини ечиш учун мўлжалланган металлсиз яримўтказгичли фотокаталитизаторларнинг қулай ва арзон усули ишлаб чиқилгани билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Наноўлчамли яримўтказгичли ва фотокаталитик хоссаларга эга графитсимон углерод нитридлари синтези бўйича олинган натижалар асосида:

наноўлчамли янги графитсимон нитридлар «Boston mega tekstil» ОАЖда амалиётга жорий қилинган (Қорақалпоғистон Республикаси Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш қўмитасининг 2021 йил 5 декабрдаги 02/18-2603-сон маълумотномаси). Натижада арзон, экологик тоза реагентларни кўп марта қўллаш корхонанинг иқтисодий самарадорлигини ошириш ва минтақадаги экологик вазиятни яхшилиш имконини берган;

янги реагентларни олиш мақсадида, фотокаталитик ва ярим ўтказгич хоссалари яхшиланган наноўлчамли графитсимон углерод нитридларини синтез қилиш усули А-ФА-2019-37 «Кўнғирот сода заводи чиқиндилари асосида кум ва тузли тупроқлар бўронларини олдини олувчи янги авлод реагентларини яратиш» деб номланган амалий лойиҳада фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2021 йил 6 декабрдаги 4/1255-3402-сон маълумотномаси). Натижада реагентларнинг таркиби ва структурасини, шунингдек, турли табиатли прекурсорларни танлаш орқали уларнинг физик-кимёвий хоссаларини бошқариш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари бўйича 6 та, шу жумладан, 2 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларнинг эълон қилиниши. Диссертация иши бўйича жами 10 та илмий ишлар нашр қилиниб, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 4 та мақола, улардан 3 та республика ва 1 та хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади².

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, мақсад ва вазифалари келтирилган, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фани ва технологияси ривожланишининг устувор йўналишларига мос келиши кўрсатилган, тадқиқот натижаларининг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти, уларнинг амалиётга татбиқ қилиниши очиқ берилган ва чоп этилган ишлар ҳамда диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ярим ўтказгичли полимер графитсимон углерод нитридлари: замонавий ҳолати**» деб номланган **биринчи боби** адабиётлар шарҳига бағишланган бўлиб, унда турли прекурсорлардан графитсимон углерод нитриди $g-C_3N_4$ ни синтез қилиш, уни турли бирикмалар билан оптималлаштириш, ярим ўтказгичли хоссаларини таъқиқланган соҳа кенглигини кичрайтириш орқали яхшилашга бағишланган замонавий усуллар борасидаги адабиётлар таҳлил қилинган, $g-C_3N_4$ нинг электрон тузилиши тушунтириб берилган, уни ҳар хил қўшимчалар билан допирлаш ва турли соҳаларда қўллаш истиқболлари асосланган. Тадқиқотнинг қўйилган вазифалари асосланган.

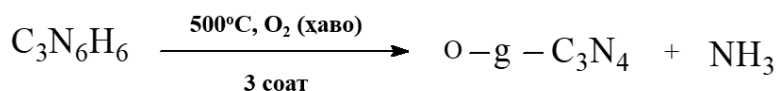
Диссертациянинг «**Кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридларини олиш ва уларни тадқиқ этиш усуллари**» деб номланган **иккинчи боби** услубий қисмдан иборат бўлиб, унда объектлар ва реагентларнинг тавсифлари келтирилган ҳамда яхшиланган хоссалар, структура ва электрон тузилишга эга кислород билан допирланган $O-g-C_3N_x$ графитсимон углерод нитридлари ҳамда $O-g-C_3N_5@AgCl$ композитини олиш усуллари баён қилинган.

Диссертациянинг «**Назорат қилинадиган архитектурали кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридининг структуравий дизайни**» деб номланган **учинчи бобида** хоссалари, структураси ва электрон тузилиши яхшиланган ҳажмли ва наноўлчамли материаллар – $O-g-C_3N_x$ таркибли кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридлари ва $O-g-C_3N_5@AgCl$ композитини синтез қилиш натижалари келтирилган.

² Кимё фанлари доктори, профессор Х.И.Ақбаровга диссертация ишини бажаришда берган илмий маслаҳатлари учун миннатдорлик билдираман.

Азотга бой органик прекурсорлар (меламин, цианамид, дицианамид, мочеви́на, тиомочеви́на ва бошқалар)нинг пиролизи турлича таркибга эга бўлган углерод нитридларининг олинишига олиб келади. Уларнинг орасида графитсимон углерод нитриди ($g-C_3N_4$) кўпроқ ўрганилган бўлиб, ярим ўтказгич хоссаларига эга бўлганлиги сабабли уни карбонат ангидридни қайтариш, электр донорларнинг эритмаларидан водородни ажратиб олиш, органик ифлослантирувчиларни оксидлаш реакцияларида самарали фотокатализатор сифатида қўллаш мумкин. Тегишли CN-прекурсорларнинг пиролизи натижасида ҳосил бўладиган углерод нитридининг таркиби стехиометрик нисбат (C_3N_4)дан маълум даражада фарқ қилади, чунки унинг структурасида водород атомлари мавжуд бўлиб, терминал азот атомлари билан бирикиб, бирламчи ва/ёки иккиламчи аминок гуруҳларни ҳосил қилади.

Меламиннинг термик поликонденсацияси усули ёрдамида кислород билан допирланган графитсимон углерод нитриди O-g-C₃N₄ни шакллантириш. Сўнгги пайтларда $g-C_3N_4$ ни турли қўшимчалар, масалан, кислород ёрдамида допирлаш долзарблашди. Допирлашнинг ўзига хослиги шундаки, бунда тоза $g-C_3N_4$ га нисбатан ўзгача хоссаларни ҳосил қилишдир. $g-C_3N_4$ ни олишнинг энг кенг тарқалган ва экологик усули бу меламинни 400 дан 600 °Сгача ҳароратларда элиминирлаш ҳисобланади. Меламин $C_3H_6N_6$ кўп миқдорда углерод ва азот сақлаган бирикмалардан бўлиб, ундан $g-C_3N_4$ нинг юқори даражада конденсирланган намуналарини олиш имконини беради. Шу сабабли кислород билан допирланган углерод нитриди O-g-C₃N₄ ни олиш учун қуйидаги схема бўйича меламинни ҳаво иштирокида 500°С ҳароратда 3 соат давомида поликонденсация реакциясига учратдик:



Олинган O-g-C₃N₄ Фурье-ИҚ-спектроскопия усули ёрдамида идентификация қилинди. Фурье-ИҚ-спектрада 3157,47 см⁻¹ соҳада – NH₂ (ν_{N-H_2}), NH (ν_{N-H}) ва – OH (ν_{O-H}) гуруҳларнинг умумий симметрик ва антисимметрик тебранишларига мос келувчи ҳамда мелем учун хос бўлган кенг полоса кузатилади. 802,39 см⁻¹ соҳадаги ўртача интенсивликка эга ва кескин полоса материалнинг протонлашмаган гептазин ёки триазин ядросидан иборат, деб тахмин қилишга имкон беради. 1315,45 см⁻¹ и 1228,66 см⁻¹ соҳалардаги кучли валент тебранишлар C-NH-C (ёки CN(-C)-C) кўпригидаги CN бирламчи боғлари борлигидан далолат беради. 472,56, 667,37 см⁻¹ соҳалардаги, шунингдек, 1228,66 ва 1568,13 см⁻¹ соҳалардаги тебранишларни гептазин ҳалқаси билан боғлаш мумкин. Шунингдек, 1624,06 см⁻¹ соҳасида C=N гуруҳ билан боғлиқ тебраниш кузатилади. 887,26 см⁻¹ соҳасидаги полоса олти аъзоли ҳалқага тегишлидир. Шунингдек, 665,44 см⁻¹ да амид гуруҳига ($\omega(NH_2)$) хос бўлган кучсиз полоса кузатилади.

Фурье-ИҚ-спектроскопия маълумотлари рентгенфазавий таҳлил натижалари билан тасдиқланади. O-g-C₃N₄ дифрактограммаси ОН-мелем ва

мелоннинг рентгенограммаси билан ўхшаш бўлиб, (100) ва (002) текисликларига хос бўлган $2\theta = 27,17^\circ$ да асосий ва $2\theta = 13,27^\circ$ да кичик интенсивли елкасимон рефлексларга эга. O-g-C₃N₄ ОН-мелем ва мелон каби (псевдо-) қаватли структурага эга, деб тахмин қилиш мумкин.

Рентгенфазавий маълумотлар асосида Шеррер формуласи орқали O-g-C₃N₄ кристаллитлари ўлчамлари ҳисобланди, бунда 4 нм атрофидаги ўлчамли заррачаларнинг ҳиссаси кўпроқ эканлиги аниқланди. Шунингдек, сезиларли интенсивликка эга ўлчамлари 6 нм ли кристаллитлар мавжуд бўлиб, ~ 20 нм атрофидаги кристаллитларнинг улуши эса рефлекснинг нисбий интенсивлигига ($I/I_1=10$) эътибор қаратадиган бўлсак, озроқни ташкил этади (1-жадвал).

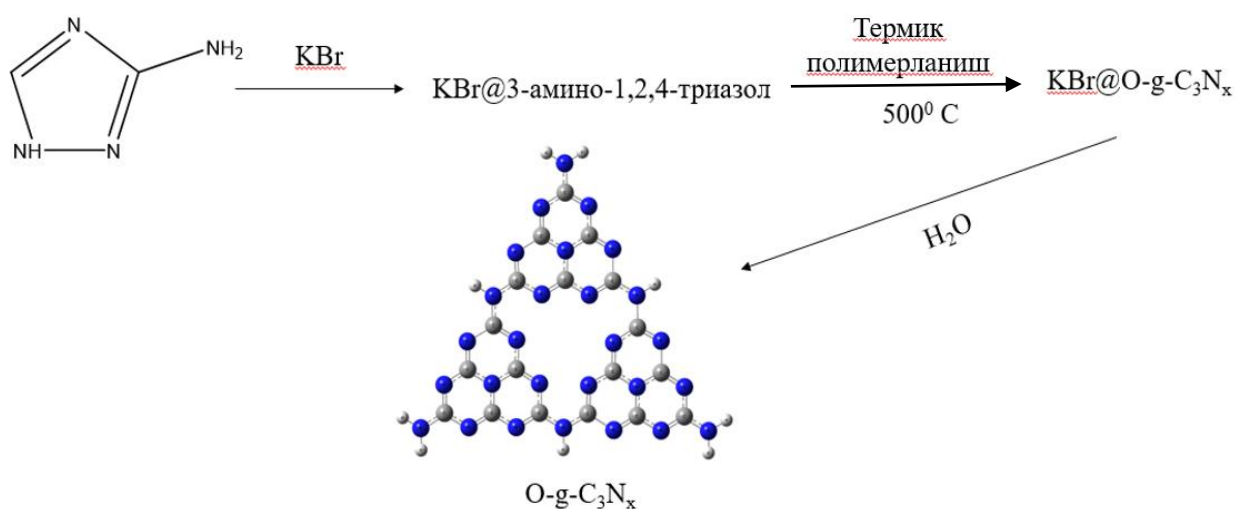
1-жадвал

Шеррер формуласи орқали топилган O-g-C₃N₄ кристаллитларининг ўлчамлари

| № | $2\theta(^{\circ})$ | $d (\text{Å})^*$ | I/I_1 | $B (FWHM)$ | $D, \text{нм}$ |
|----|---------------------|------------------|---------|------------|----------------|
| 1. | 13.2734 | 6.66503 | 34 | 1.384 | 6.04 |
| 2. | 24.9711 | 3.56301 | 18 | 1.455 | 5.84 |
| 3. | 27.1746 | 3.27890 | 100 | 2.181 | 3.92 |
| 4. | 29.5239 | 3.02311 | 13 | 1.500 | 5.72 |
| 5. | 77.4268 | 1.23164 | 10 | 0.572 | 18.59 |

*Изоҳ: d – қаватлараро масофа, $FWHM$ – ярим баландликдаги рефлекс кенглиги.

3-Амино-1,2,4-триазол асосида кислород билан допирланган графитсимон углерод нитриди O-g-C₃N₅ синтези. Кўпгина фотокаталитик жараёнларда g-C₃N₄ фаоллигининг унчалик юқори бўлмаслигига сабаб унинг кичик солиштира сирт юзасига эга эканлиги бўлиб, бу синтез жараёнининг қаттиқ шароитларда кечиши билан боғлиқ.



1-расм. Кислород билан допирланган графитсимон углерод нитридининг O-g-C₃N₅ синтез жараёни схемаси.

Шу сабабли юқори солиштирма сирт юзасига эга графитсимон углерод нитридининг темплат синтези усулларини ишлаб чиқиш долзарб вазифа ҳисобланади. Олиб борилган тадқиқотларни эътиборга олган ҳолда 3-амино-1,2,4-триазолни КВг иштирокида ҳаво муҳитида 500 °С ҳароратда 3 соат давомида термик қайта ишлаб, O-g-C₃N₅ таркибли графитсимон углерод нитриди синтез қилинди. Жараёни 1-расмда схема орқали ифодалаш мумкин.

Олинган допирланган графитсимон углерод нитриди O-g-C₃N₅ Фурье-ИҚ-спектроскопия ва рентгенфазавий усуллар ёрдамида идентификация қилинди.

Фурье-ИҚ-спектра турли тавсифдаги сигналларни кузатиш мумкин. Жумладан, 3242,04 ва 2926,01 см⁻¹ соҳаларда – NH₂ ва – OH (ν_{N-H} и ν_{O-H}) гуруҳларга хос бўлган коллектив симметрик ва антисимметрик тебранишлар намоён бўлади. 667,37 ва 1232,51 см⁻¹, шунингдек, 1573,91 см⁻¹ соҳалардаги сигналлар гептазин халқасига тегишли бўлади. Шунингдек, 1627,92 см⁻¹ да C=N гуруҳга тегишли ютилиш соҳаси ҳам кузатилади.

O-g-C₃N₅ нинг дифракцион сурати O-g-C₃N₄ га ўхшаш рефлексларга эга: 2θ = 27,14 °да (002) текисликларга хос бўлган ароматик структуралар, 2θ = 12,83 °да (100) g-C₃N₅ тизимида текисликда такрорланувчи триазол звеносига мос келади (JCPDS 87-1526). Аммо, шунингдек, янги рефлекслар ҳам кузатилиб, бу рефлекслар, афтидан, одатдаги шароитда сув билан тўлиқ ювилиб чиқмайдиган КВг модификаторига тегишли.

Шеррер формуласи орқали ҳисобланган O-g-C₃N₅ кристаллитлари ўлчамлари ~40-50 нм ни ташкил қилади (2-жадвал).

2-жадвал

Шеррер формуласи орқали ҳисобланган O-g-C₃N₅ кристаллитларининг ўлчамлари

| № | 2θ(°) | d (Å)* | I/I ₁ | B (FWHM) | D, нм |
|----|---------|---------|------------------|----------|-------|
| 1. | 12.8337 | 6.89238 | 43 | 0.22240 | 37.56 |
| 2. | 14.0779 | 6.28590 | 77 | 0.23700 | 35.29 |
| 3. | 14.2373 | 6.21588 | 85 | 0.18580 | 45.03 |
| 4. | 21.6383 | 4.10368 | 30 | 0.24600 | 34.36 |
| 5. | 27.1386 | 3.28316 | 28 | 0.20380 | 41.90 |
| 6. | 28.0141 | 3.18251 | 53 | 0.44660 | 19.16 |
| 7. | 38.4677 | 2.33832 | 100 | 0.15730 | 55.89 |
| 8. | 44.7109 | 2.02523 | 73 | 0.15370 | 58.39 |
| 9. | 65.0790 | 1.43210 | 28 | 0.16680 | 59.02 |

O-g-C₃N₅@AgCl таркибли графитсимон углерод нитриди композитининг синтези. Адабиётлардан маълумки, g-C₃N₅@AgCl композитининг кўринадиган нур соҳасида g-C₃N₅ га нисбатан янада кучлироқ фотокаталитик хоссани намоён қилади. Шу боис кислород билан допирланган углерод нитридининг кумуш хлорид билан композитининг O-g-C₃N₅@AgCl синтези амалга оширилди. O-g-C₃N₅@AgCl нинг функционал гуруҳлари Фурье-ИҚ-спектроскопия таҳлили ёрдамида тасдиқланди. O-g-C₃N₅@AgCl нинг ИҚ-

спектри O-g-C₃N₅ нинг ИҚ-спектрига жуда ўхшаш бўлиб, унча кучли бўлмаган силжишлар AgCl ва O-g-C₃N₅ ўртасида ўзаро таъсирлашув мавжудлигидан далолат беради. Жумладан, 324,27 см⁻¹ соҳасида– NH₂ ва – OH (ν_{N-H} и ν_{O-H}) гуруҳларининг коллектив симметрик ва антисимметрик тебранишларига тегишли бўлган кенг полоса мавжуд. 472,56, 667,37 см⁻¹, шунингдек, 1228,66 ва 1568,13 см⁻¹ соҳалардаги сигналлар гептазин ҳалқасига тегишлидир. Бундан ташқари 1625,99 см⁻¹ соҳасида C=N гуруҳи билан боғлиқ полоса кузатилади.

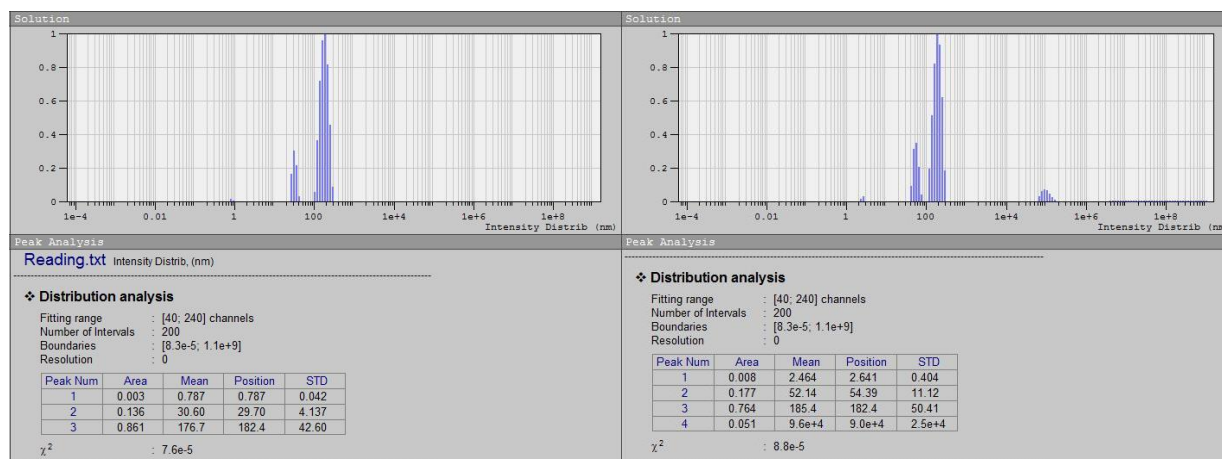
AgCl фазасининг дифракцион сурати JCPDS: 31-1238 билан идеал мос келади. O-g-C₃N₅ қўшилгандан сўнг ҳам олинган O-g-C₃N₅@AgCl композити AgCl га хос дифракцион ҳолатни намоён қилиб, O-g-C₃N₅ га қўшилгандан сўнг ҳам AgCl фазаси сақланиб қолгани тўғрисида фараз қилишга имкон беради. Бу эса O-g-C₃N₅ нинг AgCl га нисбатан кучсизроқ кристалл табиати билан боғлиқ бўлиши мумкин.

3-жадвал

O-g-C₃N₅@AgCl композити кристаллитларининг ўлчамлари

| № | 2θ(°) | d (Å)* | I/I ₁ | B (FWHM) | D, нм |
|----|---------|---------|------------------|----------|-------|
| 1. | 26.1916 | 3.39968 | 43 | 0.78950 | 10.80 |
| 2. | 28.4255 | 3.13738 | 18 | 0.85600 | 10.00 |
| 3. | 32.3206 | 2.76762 | 100 | 1.53720 | 5.62 |
| 4. | 34.1387 | 2.62427 | 34 | 1.41600 | 6.13 |
| 5. | 47.2695 | 1.92140 | 17 | 1.40000 | 6.47 |
| 6. | 50.0632 | 1.82053 | 27 | 1.88000 | 4.87 |

Заррачаларнинг ўлчамларини Шеррер формуласи ёрдамида ҳисоблаш натижаларидан кўриниб турибдики, O-g-C₃N₅ га нисбатан композитда структуравий ўзгариш рўй бераётганини хулосалаш мумкин. Композит кристаллитлари ўлчамлари ~5-10 нм оралиғидаги қийматларга эга.



2-расм. O-g-C₃N₄ заррачаларининг гидродинамик ўлчамлари.

Ультратовуш таъсирида ҳажмли материаллардан O-g-C₃N_x таркибли графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N₅@AgCl композити нанозаррачаларини шакллантириш. Нанозаррачалар олиш мақсадида ҳажмли материалларни сувли-изопропил спирти муҳитида 50 кГц частотали ультратовуш ёрдамида 6 соат давомида диспергацияланди.

Диспергациялашдан сўнг заррачаларнинг гидродинамик ўлчамлари нурнинг динамик сочилиши (НДС) усулида аниқланди. Тадқиқот натижалари 2-расмда келтирилган.

2-расмда келтирилган натижалардан кўришиб турибдики, O-g-C₃N₄ заррачалари ўлчамлари бўйича нанодаражага тегишли бўлиб, таркиби бўйича, асосан, икки хил заррачалардан иборат. Заррачаларнинг асосий қисми (0,861 ёки 86,1 %)нинг ўлчами 30,6 нм ни, қолган қисмининг (0,136 ёки 13,6 %) ўлчами эса 176,7 нм ни ташкил этади. Аммо суспензия суюлтирилганда заррачалар полидисперслиги ва ўлчамлари ошиш томонга ўзгаради (2-расм, ўнг томон). Заррачалар ўлчамининг ошишини сувли-спиртли муҳитда агрегация натижасида заррачаларнинг йириклашуви билан изоҳлаш мумкин. Таъкидлаш жоизки, заррача атрофида сольват қобикнинг ҳосил бўлиши туфайли гидродинамик радиус туннел электрон микроскопияси каби микроскопик усуллар ёрдамида аниқланадиган ўлчамлардан каттароқ бўлиши мумкин. Қобикнинг ҳосил бўлиши эса заррача яқин атрофининг қутбланиши сабабли юзага келади.

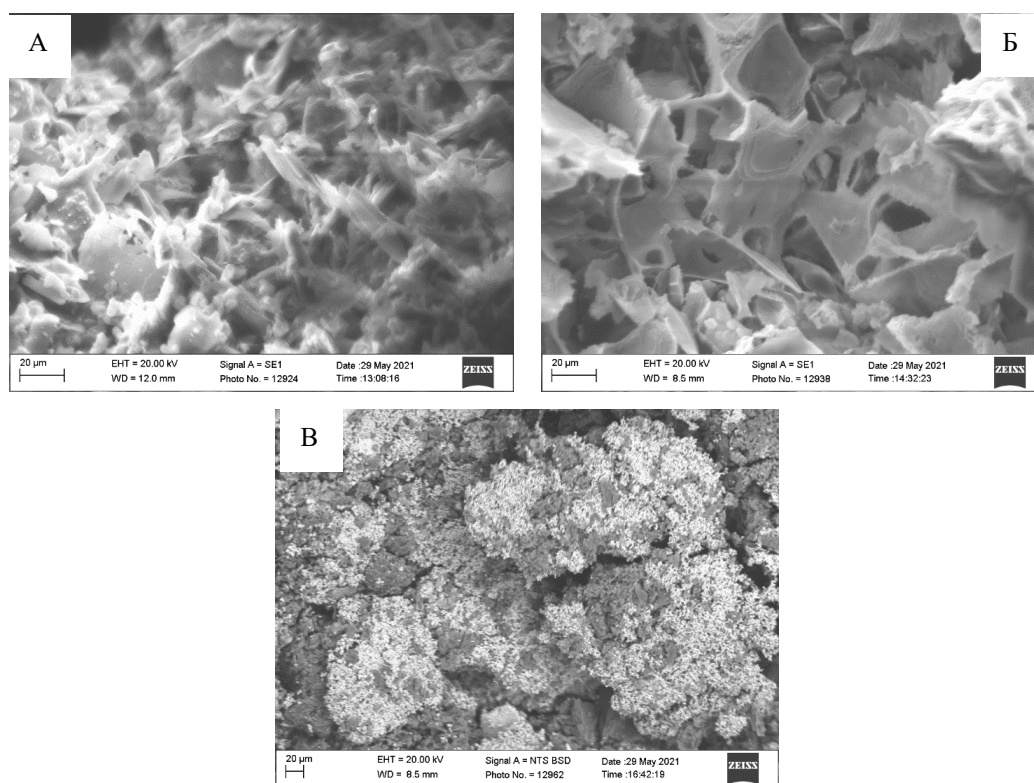
НДС таҳлилининг кўрсатишича, O-g-C₃N₅ гидродинамик ўлчами бўйича 45,17 нм (34 %) ва 209,1 нм (65,3 %), O-g-C₃N₅@AgCl композити эса 28,92 нм (2,2 %), 262,6 нм (33,9 %) ва микронли даражадаги (63,9 %) заррачалардан иборат. Таъкидлаш лозимки, суспензия суюлтирилганда заррачаларнинг полидисперслиги ва ўлчамларининг ошиши барча намуналарда сақланиб қолади, бу эса заррачаларнинг ҳақиқий ўлчами гидродинамик ўлчамдан кичик бўлишидан далолат беради.

Диссертациянинг «Графитсимон углерод нитридларининг физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилиш» деб номланган тўртинчи бобда олинган материалларнинг структуравий морфологияси ва электрон тузилишини замонавий тадқиқот усуллари ёрдамида ўрганиш натижалари келтирилган.

3-расмда келтирилган маълумотлардан кўринадикки, O-g-C₃N₄ нинг сирти нотекис тақсимланган, материалнинг ичига сингиб кетган субмикрон ўлчамдаги игнасимон пластинкалардан ташкил топган. Кристаллитларнинг бундай шаклга эга бўлиши узок давом этадиган қиздириш ва секин совиш жараёнида дастлабки заррачаларнинг қайта кристалланиши билан боғлиқ бўлиши мумкин.

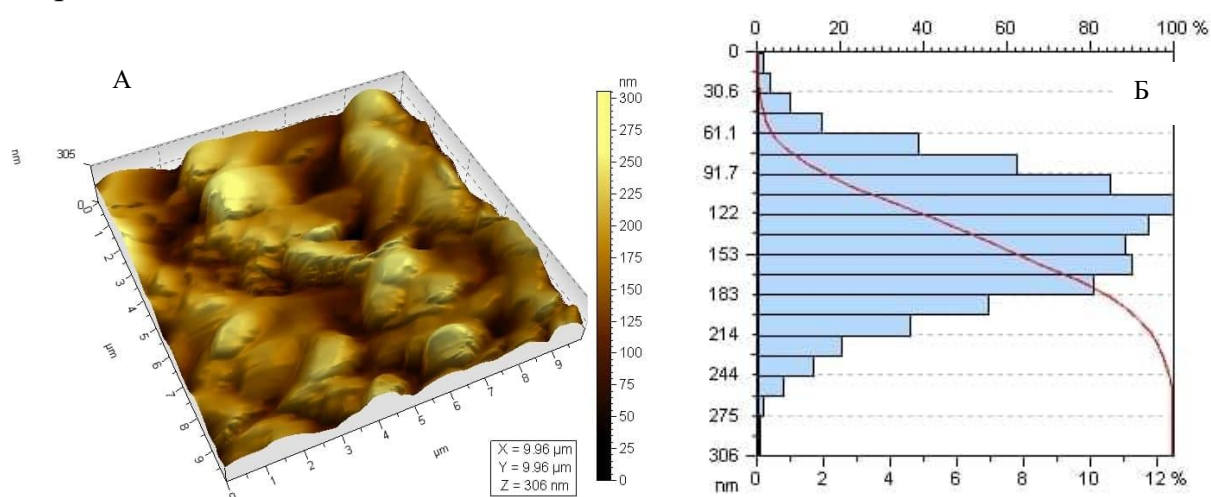
O-g-C₃N₅ сирти нотекис бўлиб, унда аммиакнинг ажралиб чиқиши ва KBr нинг сув билан ювиб чиқарилиши оқибатида ҳосил бўладиган ғоваксимон структура кузатилади (3б-расм).

O-g-C₃N_x@AgCl сиртининг Z-контраст режимида олинган тасвири донадор структуранинг борлигидан далолат беради (рис.3в).



3-расм. 500 марта катталаштирилган O-g-C₃N₄ (A), O-g-C₃N₅ (Б) ва O-g-C₃N_x@AgCl (B) структуравий морфологияси.

Тадқиқотлар давомида заррачаларнинг ўлчам хусусиятлари, шунингдек, атом кучланишли микроскопия (АСМ) усулида ҳам текширилди. 4-расмдан кўришиб турибдики, O-g-C₃N₅ ўлчами 275 нм гача бўлган заррачалардан иборат.



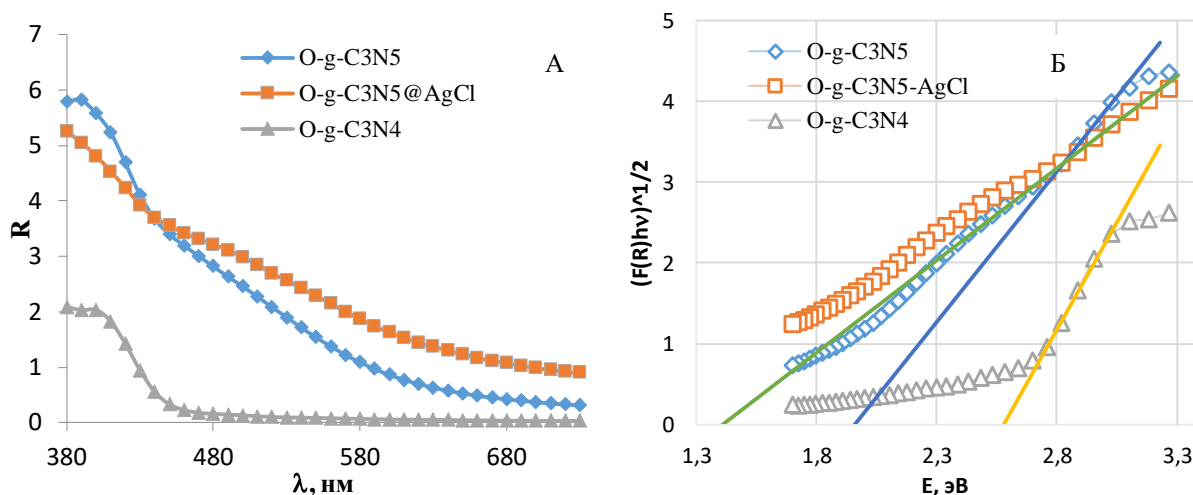
4-расм. O-g-C₃N₅ нинг фазавий АСМ-тасвири (A) ва нанозаррачаларнинг тақсимоти гистограммаси (Б).

Олинган намуналарнинг ғоваклиги бензол буғлари сорбцияси изотермалари ёрдамида ўрганилди. 4-жадвалда келтирилган маълумотлардан кўришиб турибдики, КВт темплати иштирокида олинган O-g-C₃N₅ нисбатан ривожланган ғоваксимон структурага эга.

Синтез қилинган материалларнинг ғоваклик кўрсаткичлари

| Намуна | Моноқават сифими, моль/кг | Солиштирма сирт юзаси, м ² /г | Ғовакларнинг ўртача радиуси, Å |
|---|---------------------------|--|--------------------------------|
| O-g-C ₃ N ₄ | 0.148 | 35.61 | 11.2 |
| O-g-C ₃ N ₅ | 0.635 | 152.84 | 11.4 |
| O-g-C ₃ N ₅ @AgCl | 0.159 | 38.17 | 32.4 |

Фотокатализаторларнинг нурни ютиш қобилияти ва оптик таъқиқланган соҳа кенглиги муҳим кўрсаткичлардан ҳисобланади. Олинган материаллар шаффоф бўлмаганлиги сабабли уларнинг оптик хоссалари диффузион қайтарилиш спектроскопия (ДҚС) усули ёрдамида ўрганилди (5а-расм). $(F(R)h\nu)^{1/2} - h\nu$ боғлиқлигидан (Тауц эгрилари, 5б-расм) олинган материалларнинг таъқиқланган соҳа кенглиги (E_g) аниқланди. Унинг қиймати O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅ ва O-g-C₃N_x@AgCl учун мос равишда 2,58, 1,96 ва 1,41 эВ га тенг. Олинган натижалар графитсимон углерод нитридининг ярим ўтказгич хоссалари яхшиланганини кўрсатади. Адабиётлардан маълумки, g-C₃N₄ учун E_g нинг қиймати ўртача 2,70 эВ ни ташкил этади.

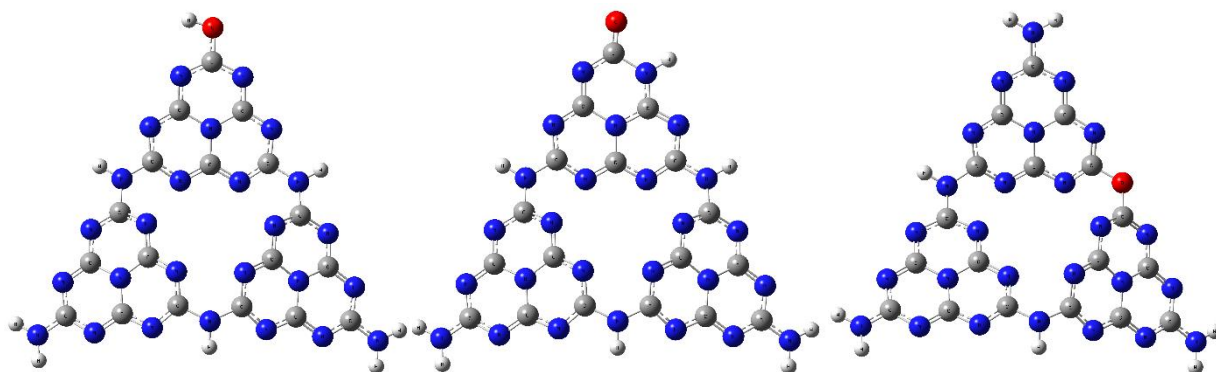


5-расм. Синтез қилинган материаллар учун диффузион қайтарилиш спектрлари (А) ва Тауц эгри чизиқлари (Б).

Олинган тажриба натижалари билан солиштириш учун Gaussian 09 дастурий пакетидан фойдаланган ҳолда квант-кимёвий ҳисоблашлар олиб борилди. 6-расмда O-g-C₃N₄ молекуласи (фрагменти)нинг айрим эҳтимолий оптималлаштирилган вариантлари келтирилган. Чегаравий молекуляр орбиталлар: юқори эгалланган молекуляр орбитал (ЮЭМО/ НОМО) ва қуйи бўш молекуляр орбитал (ҚБМО/ LUMO), шунингдек, таъқиқланган соҳа кенглиги (E_g) қийматлари 5-жадвалда келтирилган.

5-жадвалда келтирилган маълумотлардан кўриниб турибдики, E_g нинг ҳисобланган қийматлари тажриба қийматларидан каттароқдир. Бу ҳолатни графитсимон углерод кўп қаватли структурага эга эканлиги, назарий

ҳисоблашларда эса алоҳида молекулалар олингани билан тушунтириш мумкин.



6-расм. O-g-C₃N₄ нинг Gaussian 09 дастурий пакети ёрдамида оптималлаштирилган айрим эҳтимолий молекуляр структуралари.

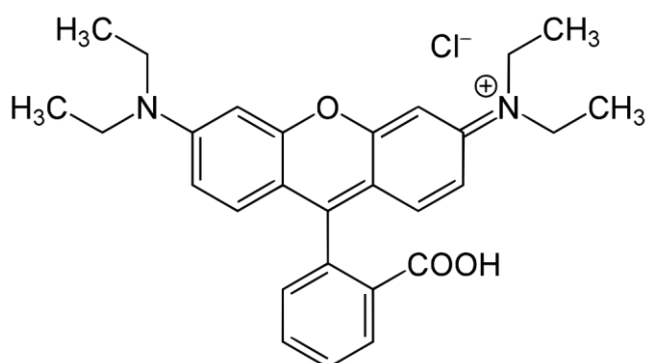
5-жадвал

O-g-C₃N₄ нинг айрим эҳтимолий структураларининг чегаравий молекуляр орбиталлари ва таъқиқланган соҳа кенглиги қийматлари

| № | ЮЭМО, эВ | ҚБМО, эВ | E_g , эВ |
|-----|----------|----------|------------|
| I | -6.48 | -2.63 | 3.84 |
| II | -6.58 | -2.63 | 3.84 |
| III | -6.51 | -2.46 | 4.05 |

Термогравиметрия (ТГА), дифференциал термогравиметрия (ДТГ) ва дифференциал сканирловчи калориметрия усуллари ёрдамида олинган графитсимон углерод нитридларининг термик барқарорлиги 30-700 °C оралиқда текширилганда, уларнинг ҳатто ~ 700 °C ҳароратда ҳам 20-25 % массасини сақлаб қолиши аниқланди.

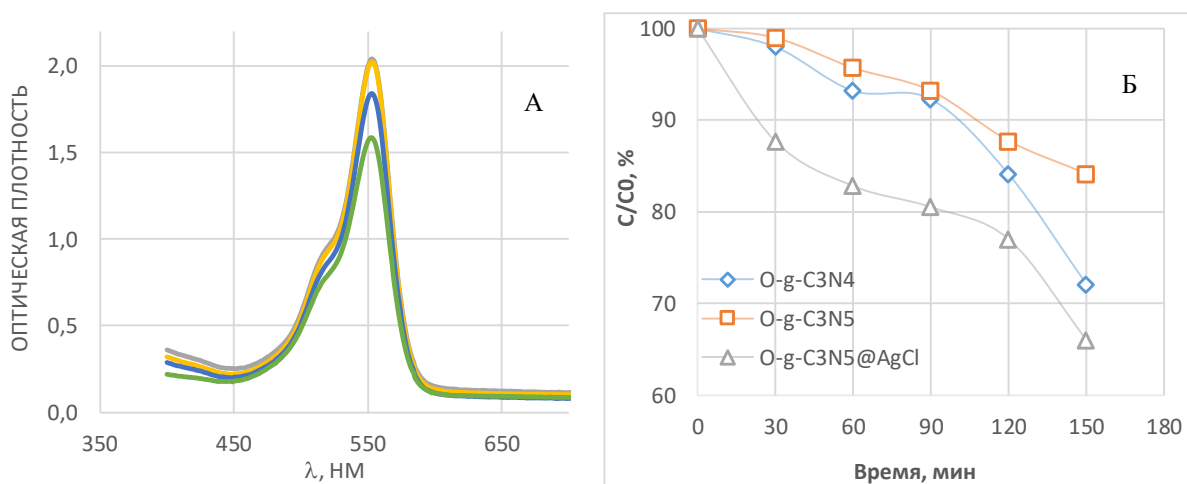
Диссертациянинг «**Олинган графитсимон углерод нитридларнинг УБ-ва қуёш нури таъсирида фотокаталитик фаоллигини тадқиқ этиш**» деб номланган **бешинчи боб**ида олинган материалларнинг родамин Б (7-расм) ва пестицидларни УБ-ва кўринувчи нур соҳасида парчалаш реакцияларидаги фаоллигини ўрганиш натижалари келтирилган.



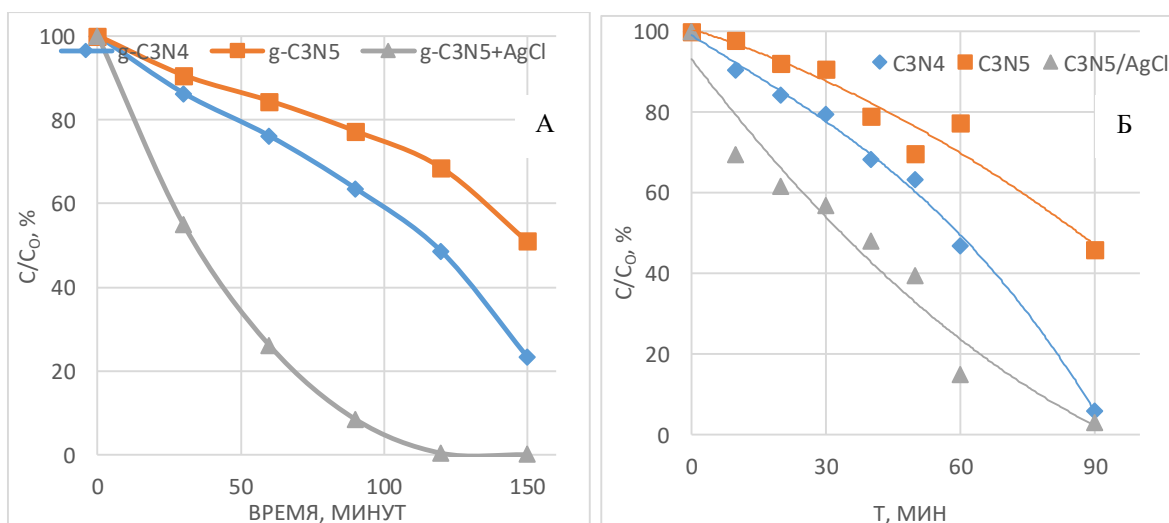
7-расм. Родамин Б нинг структура формуласи.

Графитсимон материаллар ($O-g-C_3N_4$, $O-g-C_3N_5$, $O-g-C_3N_5@AgCl$) иштирокида УБ-нур таъсирида родамин Бнинг фотокалитик деструкциясини ўрганиш натижасида уларнинг юқори фотокалитик фаолликка эга эканлиги аниқланди. Бунда ўрганилган фотокализаторлар орасида $g-C_3N_5@AgCl$ юқори фаолликни намён қилиб, 2.5 соат давомида деструкция даражаси 34 %ни ташкил этади (8-расм).

Шунингдек, олинган материаллар иштирокида қуёш нури таъсирида родамин Бнинг фотокалитик парчаланиш реакцияси ўрганилди. 9-расмда олинган $O-g-C_3N_4$, $O-g-C_3N_5$, $O-g-C_3N_5@AgCl$ ҳажмли материаллари ва нанозаррачалари иштирокида родамин Бнинг қуёш нури таъсирида парчаланиш реакциясининг кинетик эгри чизиқлари келтирилган.



8-расм. Олинган материаллар иштирокида 0, 30, 60, 90, 120, 150 минут давомида УБ-нурлар таъсирида родамин Бнинг оптик зичлиги (А) ва фотокалитик оксидланиш жараёнининг кинетик эгрлари (Б).



9-расм. Олинган материаллар иштирокида родамин Бнинг қуёш нури таъсирида парчаланиш реакциясининг кинетик эгри чизиқлари: А – ҳажмли материаллар, Б – нанозаррачалар.

9а-расмда келтирилган маълумотлардан кўринадикки, энг юқори фотокаталитик фаолликни O-g-C₃N₅@AgCl композит намоён қилиб, у 2 соат давомида родамин Бни деярли тўлиқ (99,86 %) парчалайди. Реакция шароитида (давомийлик – 2 соат, нурлантириш – қуёш нури) O-g-C₃N₄ ва O-g-C₃N₅ родамин Б ни мос равишда 76,5 ва 48,9 %га парчалайди.

Аммо наноўлчамли O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl иштирокида родамин Бнинг қуёш нури таъсирида парчаланитиш жараёни тезлашади. Графитсимон материаллар (g-C₃N₄, g-C₃N₅, g-C₃N₅/AgCl) иштирокида родамин Бнинг фотокаталитик парчаланитишини ўрганиш натижаларининг кўрсатишича, жараён деярли 1,5 соат давомида яқунланади (9б-расм).

Тадқиқотлар давомида синтез қилинган материалларнинг Тошкент вилояти Оққўрғон туманидаги 78-контурдан олинган захарланган тупроқ таркибидаги пестицидлар (ДДТ, ДДД, ДДЕ)нинг фотокаталитик парчаланитиш реакцияси ҳам ўрганилди.

б-жадвалда келтирилган маълумотлардан кўринадикки, синтез қилинган материаллар табиатни ва атроф-муҳитни ифлословчи органик захарловчиларга нисбатан юқори фотокаталитик фаолликка эга. Синаб кўрилган фотокатализаторлар пестицидларни деярли тўлиқ парчалайди. Бунда қўлланилган фотокатализаторлар орасида O-g-C₃N₅@AgCl энг юқори фаолликни намоён қилади.

б-жадвал

Тошкент вилояти Оққўрғон туманидаги 78-контурдан олинган захарланган тупроқ таркибидаги пестицидларни 1 сутка давомида фотокаталитик парчалош натижалари

| Пест. | Даст. конц., мг/кг | Фотокаталитик парчаланитишдан сўнг пестицидларнинг концентрацияси ва фотокаталитик деструкция даражаси | | | | | |
|-------|--------------------|--|------|-----------------------------------|------|---------------------------------------|-------|
| | | O-g-C ₃ N ₄ | | O-g-C ₃ N ₅ | | O-C ₃ N ₅ @AgCl | |
| | | мг/кг | % | мг/кг | % | мг/кг | % |
| ДДТ | 312,1 | 0,62 | 99,8 | 0,18 | 99,9 | 0,0 | 100,0 |
| ДДД | 21,0 | 0,35 | 98,3 | 0,39 | 98,1 | 0,2 | 99,05 |
| ДДЕ | 84,0 | 0,06 | 99,9 | 0,08 | 99,9 | 0,0 | 100,0 |

Таъкидлаш муҳимки, ишлатилган фотокатализаторларнинг фаоллиги фақатгина объектлар сифатида танланган пестицидлар билан чекланиб қолмайди. Улар, шунингдек, ифлосланган тупроқ таркибидаги бошқа органик ифлослантирувчиларни ҳам парчалаши газ хроматграфияси усули ёрдамида исботланди.

ХУЛОСАЛАР

1. Фотокаталитик хоссалари яхшиланган кислород билан допирланган наноўлчамли O-g-C₃N_x графитсимон углерод нитридлари ва O-g-C₃N_x@AgCl композити олиш учун меламинам ҳамда 3-амино-1,2,4-триазол прекурсорларини ҳаво иштирокида термик поликонденсациялаш ва ҳажмли материалларни ультратовуш таъсирида диспергациялаш тавсия этилган.

2. Синтез жараёнида дастлабки заррачаларнинг рекристаллизацияси туфайли олинган материалларнинг нотекис кристалл структурага эга бўлиши аниқланди. Темплат сифатида KBr дан фойдаланиш $O-g-C_3N_5$ нинг ғоваклиги ва кристаллар ўлчамининг ($\sim 40-50$ нм) ортишига, $AgCl$ билан модификациялаш эса текис донадор тузилишли $O-g-C_3N_5@AgCl$ ҳосил бўлиши билан изоҳланади.

3. Бензол буғларининг изотермик адсорбцияси орқали олинган материалларнинг ғовак структураси ва ғоваклик кўрсаткичлари аниқланган. Энг юқори солиштирма сирт юзаси ($152,84$ м²/г) $O-g-C_3N_5$ эга бўлиб, бу синтез жараёнида темплатдан фойдаланилгани ва сув билан ювиб чиқарилгани билан тушунтирилади.

4. Нурнинг диффузион сочилиши спектроскопияси ёрдамида олинган материалларнинг ярим ўтказгич хоссаларининг яхшилангани ва $O-g-C_3N_4$, $O-g-C_3N_5$, $O-g-C_3N_5@AgCl$ нинг таъқиқланган соҳа кенглиги қийматлари мос равишда $2,58$, $1,96$ ва $1,41$ эВ га тенг эканлиги исботланди.

5. Олинган янги материаллар ($O-g-C_3N_4$, $O-g-C_3N_5$, $O-g-C_3N_5@AgCl$) УФ- ва қуёш нури таъсирида родамин Бни фотокаталитик парчалаш реакциясида синаб кўрилди ва уларнинг кўринадиган нур соҳасида фаолроқ эканлиги аниқланди. Бунда энг юқори фаолликни $O-g-C_3N_5@AgCl$ композити намоён қилиб, 1.5 соат давомида парчаланиш даражаси ~ 97 % ни ташкил этади.

6. Олинган фотокатализаторлар ($O-g-C_3N_4$, $O-g-C_3N_5$, $O-g-C_3N_5@AgCl$)нинг заҳарланган тупроқдаги пестицидлар (ДДТ, ДДД, ДДЭ)ни деярли батамом парчалаши кўрсатиб берилди ва экология ҳамда атроф-муҳит муҳофазаси муаммоларини ечиш учун самарали воситалар сифатида тавсия этилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.K.01.03 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК ПРИ
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

СИДРАСУЛИЕВА ГОЗЗАЛ БЕКБЕРГЕНОВНА

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ
СОСТАВА C_3N_x**

02.00.04 – Физическая химия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ХИМИЧЕСКАМ НАУКАМ**

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2021.2.PhD/К392.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице по адресу www.ik-kimyo.nuu.uz и информационно-образовательном портале «ZiyoNET» по адресу www.ziyo.net.uz.

Научный руководитель:

Каттаев Нуритдин Тураевич
доктор химических наук, доцент

**Официальные
оппоненты:**

Рузимурадов Олим Нарбекович
доктор химических наук, профессор

Сидиков Абдужалол
доктор химических наук, профессор

**Ведущая
организация:**


Институт общей и неорганической химии

Защита диссертации состоится « 29 » января 2022 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета 03/30.12.2019.К.01.03 при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, Ташкент, ул. Университетская 4, Тел.: (99871) 227-12-24; факс: (99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: chem0102@mail.ru).

Докторская диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана за № 8, с которой можно ознакомиться в ИРЦ. (100174, Ташкент, ВУЗ городок, Фундаментальная библиотека НУУз. Тел.: (99871) 246-67-71).

Автореферат диссертации разослан « 17 » января 2022 года.

(протокол рассылки № 3 от « 17 » января 2022 года).


З.А. Сманова
Председатель научного совета по
присуждению учёной степени доктора наук,
д.х.н., профессор
Д.А. Гафурова
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёной степени доктора наук, д.х.н.
М.Г. Мухамедиев
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению учёной степени доктора наук,
д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире различные аллотропные виды графитоподобного нитрида углерода, активные в ультрафиолетовой и видимой областях света, стали широко применяться в качестве многообещающего «безметаллового» фотокатализатора во многих областях, таких как разложение органических загрязнителей, выделение водорода (HER), накопление энергии, электроника, фотокаталитическое восстановление CO_2 до углеводородных соединений и т.д.

В мире проводятся научно-исследовательские работы по оптимизации условий синтеза, функционализации и сужению ширины запрещенной зоны, повышению термической стабилизации и фотокаталитических свойств полупроводниковых графитовых фотокатализаторов нитрида углерода $g\text{-C}_3\text{N}_4$ и разработке новых композитов на его основе для применения в реакциях, индуцированных видимым светом. В связи с этим структурный дизайн и исследование физико-химических свойств фотокатализаторов на основе наноразмерных графитоподобных $g\text{-C}_3\text{N}_4$ и $g\text{-C}_3\text{N}_4$ -композитов является актуальным.

В нашей стране были достигнуты определенные результаты в разработке «зелёных» материалов, обладающих рядом преимуществ (безопасность, экономичность, экологические, возобновляемые и полупроводниковые свойства) как ответ все возрастающим угрозам, связанным с экологическими проблемами и нехваткой энергии, препятствующие развитию человеческого общества, в частности, получены новые типы наногибридных композиций, фотокатализаторов, наноразмерных сенсоров и датчиков, сорбентов и др. В Стратегии действий³ по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены важные задачи, направленные на «освоение производства принципиально новых видов продукции и технологий, обеспечивающих конкурентоспособность отечественных товаров на внутреннем и внешнем рынках». Поэтому является актуальным получение наноразмерных модификаций графитоподобного нитрида углерода и композитов с улучшенными свойствами и фотокаталитической активностью в области видимого света, а также изучать их физико-химические свойства.

Данное диссертационное исследование в определённой степени способствует выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», постановлениями Президента Республики Узбекистан от 9 апреля 2021 года № ПП-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» и от 12 августа 2020 года № ПП-4805 «О мерах по повышению качества непрерывного образования и результативности науки по направлениям химии и биологии», а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

³ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики Узбекистан VII. «Химия, химическая технология и нанотехнология».

Степень изученности проблемы. В мире в настоящее время учеными ведутся исследования по синтезу графитоподобного нитрида углерода ($g\text{-C}_3\text{N}_4$) – наиболее термодинамически стабильной фазы нитрида углерода, состоящей, подобно графиту из слоев моноатомной толщины, удерживаемых вместе силами Ван-дер-Ваальса, и его производных. Ширина запрещенной зоны (ΔE_g) $g\text{-C}_3\text{N}_4$ составляет ~ 2.70 эВ, поэтому он применяется в иницируемых видимым светом фотокаталитических процессах: очистке воды, генерации водорода и синтезе углеводородов из углекислого газа. (Т. Komatsu (Япония), Jens-Oliver Müller, Arne Thomas (Германия), Wee-Jun Ong, Lling-Ling Tan, Siek-Ting Yong (Малайзия), Yun Hau Ng (Австралия), Jinnan Liang, Xiaohong Yang, Yan Wang, Peng He, Xiaodong Zhang, Xiao Xie, Hui Wang (Китай), M. Elshafie, S.A. Younis, E.A.M. Gad (Египет), P. Serp (Франция).

Учеными Содружества независимых государств показано, что фотокаталитическая активность $g\text{-C}_3\text{N}_4$ может быть увеличена путем введения сужающих запрещенную зону допирующих примесей, например таких, как кислород (Н.М. Денисов, Е.Б. Чубенко, В.П. Бондаренко, В.Е. Борисенко (Беларусь), А.Б. Богомолов, С.А. Кулаков, П.В. Зинин, В.А. Кутвицкий, М.Ф. Булатов (Россия), М. Э. Бондаренко, П. М. Силенко, Ю. М. Солонин (Украина).

В нашей республике фотокатализаторы являются довольно новым направлением. В этом направлении можно привести работы О.Н.Рузимурадова, Нурмонова С.Э., Кадыровой З.Ч., Акбаровым Х.И., Каттаевым Н.Т. по синтезу и исследованию свойств наночастиц оксида титана (TiO_2) и гибридных композитов на его основе.

Исследования по улучшению свойств и синтезу композитов графитоподобного нитрида углерода, изучению их физико-химических свойств имеют научно-практическую значимость.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертация выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ Национального университета Узбекистана по фундаментальному гранту № ОТ-Ф-7-52 «Закономерности взаимодействия органических и неорганических соединений различной природы и получение новых соединений с заданной реакционной способностью и комплексом свойств» (2017-2020 гг.).

Целью исследования является структурный дизайн и определение физико-химических свойств низкоразмерных допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода состава $O\text{-}g\text{-C}_3\text{N}_x$.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследования:**

провести анализ современного состояния исследований в области синтеза и физическо-химических свойств $g-C_3N_4$;

разработать методику синтеза допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода $O-g-C_3N_x$ и композитной структуры $O-g-C_3N_5@AgCl$;

разработать методику формирования наночастиц $O-g-C_3N_x$ и $O-g-C_3N_5@AgCl$ из (нано)объемных материалов;

исследовать морфологии поверхности и структурные свойства полученных (нано)объемных материалов и наночастиц;

исследовать электронное строение полученных допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода $O-g-C_3N_x$ и композитной структуры $O-g-C_3N_5@AgCl$;

изучить возможности использования синтезированных материалов в фотокаталитических реакциях разложения родамина Б и пестицидов в почве под действием солнечных лучей.

Объектами исследования являются допированные кислородом графитоподобные нитриды углерода состава $O-g-C_3N_x$ и композитная структура $O-g-C_3N_5@AgCl$.

Предметом исследований являются структурные и размерные особенности допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода $O-g-C_3N_x$ и композитной структуры $O-g-C_3N_5@AgCl$, их физико-химические и фотокаталитические свойства.

Методы исследования. Для выполнения работы использованы методы изотермической сорбции, УФ-видимый и ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье, рентгенофазового анализа, термического анализа (ТГ, ДТГ, ДСК), электронной микроскопии (СЭМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ), метод динамического рассеяния света (ДРС), а также современные методы компьютерного (DFT) моделирования.

Научная новизна:

синтезированы новые допированные кислородом графитоподобные нитриды углерода $O-g-C_3N_x$ и композитная структура $O-g-C_3N_5@AgCl$ методом термической поликонденсации, активные в области видимого света;

впервые получены наноразмерные частицы методом ультразвукового диспергирования объемных материалов допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода $O-g-C_3N_x$ и композитной структуры $O-g-C_3N_5@AgCl$;

установлены особенности морфологии поверхности, структурных и размерных свойств полученных новых допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода $O-g-C_3N_x$ и композитной структуры $O-g-C_3N_5@AgCl$;

методом диффузного рассеяния света квантово-химическими методами исследования установлены электронное строение и полупроводниковые свойства синтезированных новых материалов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

показана возможность синтеза активных в видимом диапазоне света объемных и наноразмерных допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода O-g-C₃N_x и композитной структуры O-g-C₃N₅@AgCl малозатратным и технологически простым способом;

выявлено, что новые экологически чистые объемные и наноразмерные материалы можно использовать в качестве фотокатализаторов для разложения органических поллютантов в сточных водах и пестицидов в песке под действием солнечных лучей.

Достоверность результатов исследований. Основные научные положения, выводы обосновываются использованием таких современных физико-химических методов, как изотермическая сорбция, Фурье-ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ, термический анализ (ТГ, ДТГ, ДСК), электронная микроскопия (СЭМ, АСМ), метод динамического рассеяния света (ДРС), а также использованием современных квантово-химических расчетов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в установлении условий получения объемных и наноразмерных допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода O-g-C₃N_x и композитной структуры O-g-C₃N₅@AgCl с улучшенными полупроводниковыми и фотокаталитическими свойствами.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке малозатратного и простого способа получения безметалловых полупроводниковых фотокатализаторов для решения проблем экологии и охраны окружающей среды.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов по синтезу наноразмерных графитоподобных нитридов углерода с полупроводниковыми и фотокаталитическими свойствами:

новые наноразмерные графитоподобные нитриды углерода внедрены в практику очистки сточных вод текстильной промышленности от органических загрязнителей ООО «Boston mega tekstil» (справка Комитета по экологии и охране окружающей среды Республики Каракалпакстан от 5 декабря 2021 года № 02/18-2603). Результаты многократного использования малозатратных, экологически чистых реагентов дали возможность повысить экономическую эффективность предприятия и улучшить экологическую ситуацию в регионе;

для получения новых соединений результаты диссертационного исследования использованы в рамках прикладного гранта А-ФА-2019-37 «Разработка реагентов нового поколения для предотвращения песчаных и солевых бурей на основе отходов Кунградского содового завода» (справка Академии наук Республики Узбекистан от 6 декабря 2021 года № 4/1255-3402). Результаты дали возможность регулировать физико-химические свойства реагентов путем изменения состава и структуры, а также подбором прекурсоров различной природы.

Апробация результатов исследования Результаты исследования докладывались и обсуждались на 6, в том числе 2 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По материалам диссертационной работы опубликовано 10 научных работ, 4 статей, в том числе 3 в республиканских и 1 международном журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы и приложения. Объём диссертации составляет 120 страниц⁴.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Полупроводниковые полимерные графитоподобные нитриды углерода: современное состояние**» проанализированы литературные данные, посвященные современному представлению синтеза графитоподобного нитрида углерода $g-C_3N_4$ из различных прекурсоров, оптимизации $g-C_3N_4$ различными соединениями, улучшение полупроводниковых свойств путем сужения ширины запрещенной зоны, объяснено электронное строение, раскрыт механизм фотокаталитического выделения водорода с применением $g-C_3N_4$, показаны физико-химические свойства $g-C_3N_4$, обоснованы перспективы допирования различными примесями и применения в различных областях. Обосновывается постановка задачи исследования.

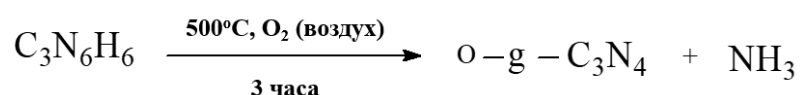
Вторая глава диссертации под названием «**Синтез и методы исследования допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода**» состоит из методической части, в которую входят характеристика объектов и реагентов и представлены методы получения и исследования физико-химических свойств допированных кислородом графитоподобных нитридов углерода состав $O-g-C_3N_x$ и композита $O-g-C_3N_5@AgCl$.

В третьей главе под названием «**Структурный дизайн допированного кислородом графитоподобного углерода нитрида с контролируемой архитектурой**» представлены результаты синтеза объемных и наноразмерных материалов – допированных кислородом графитоподобных нитридов состава $O-g-C_3N_x$ и композита $O-g-C_3N_5@AgCl$ с улучшенными свойствами, структурой и электронным строением.

⁴ Автор выражает искреннюю благодарность доктору химических наук, профессору Акбарову Х.И. за научные консультации при выполнении диссертационной работы.

Пиролиз обогащенных азотом органических прекурсоров (меламина, цианамиды, дициандиамиды, мочевины, тиомочевины и др.) приводит к образованию нитридов углерода различного химического состава, наиболее изученным среди которых является графитоподобный нитрид углерода (g-C₃N₄), проявляющий полупроводниковые свойства, что позволяет рассматривать его как эффективный фотокатализатор таких процессов как восстановление углекислого газа, выделение водорода из водных растворов электронодоноров, окисление органических загрязнителей. Состав нитрида углерода, образующегося в результате пиролиза соответствующих CN-прекурсоров, в определенной степени отличается от стехиометрического (C₃N₄), что обусловлено наличием в его структуре атомов водорода, которые, связываясь с терминальными атомами азота, могут образовывать первичные и/или вторичные аминогруппы.

Формирование допированного кислородом полимерного графитоподобного нитрида углерода O-g-C₃N₄ методом термической поликонденсации меламин. В последнее время актуальной стало допирование g-C₃N₄ различными примесями, например такими, как кислород, особенностью которого является возможность достижения принципиально новых свойств по сравнению с чистым g-C₃N₄. Самым распространенным и экологичным методом получения g-C₃N₄ является элиминирование меламин при температурах от 400 до 600°C. Меламин C₃H₆N₆ является одним из соединений с высоким содержанием углерода и азота, что позволяет получать высококонденсированные образцы g-C₃N₄. В этой связи для получения допированного кислородом O-g-C₃N₄ проведена поликонденсация меламин при температуре 500°C в течение 3 часов в присутствии воздуха по следующей схеме:



Полученный O-g-C₃N₄ идентифицировали методом ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. На Фурье-ИК-спектре O-g-C₃N₄ в области 3157,47 см⁻¹ наблюдается довольно широкая полоса, обусловленная коллективными симметричными и антисимметричными колебаниями – NH₂ (ν_{N-H2}), NH (ν_{N-H}) и – OH (ν_{O-H}) групп и являются типичными полосами мелем. Средняя интенсивность и резкая полоса при 802,39 см⁻¹ позволяет предположить, что материал состоит из непротонированного гептазинового или триазинового ядра, но однозначное отнесение к любому из них невозможно. Сильные колебания при 1315,45 см⁻¹ и 1228,66 см⁻¹ свидетельствуют о валентном колебании одинарной связи CN мостикового C-NH-C (или CN(-C)-C) фрагмента в полимерном нитриде углерода. Сигналы в областях 472,56, 667,37 см⁻¹, а также 1228,66 и 1568,13 см⁻¹ можно отнести к колебаниям гептазинового кольца. Также обнаруживается полоса поглощения в области 1624,06 см⁻¹, связанной с C=N группой. Полоса поглощения при 887,26 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям шестичленного кольца. Также наблюдается слабая полоса при 665,44 см⁻¹ (ω(NH₂), которую можно отнести к амидной группе.

Результаты Фурье-ИК-спектроскопии подтверждаются данными рентгенофазового анализа. Дифрактограмма O-g-C₃N₄ аналогична с рентгенограммами ОН-мелема и мелона, с основным пиком при $2\theta = 27,17^\circ$ и плечевым пиком меньшей интенсивности при $2\theta = 13,27^\circ$, относящиеся плоскостям (100) и (002) соответственно. Можно предполагать, что O-g-C₃N₄ обладает аналогичной (псевдо-) слоистой структурой, как ОН-мелем и мелон.

На основании данных рентгенофазового анализа по формуле Шеррера определили размеры кристаллитов O-g-C₃N₄, в котором преобладают частицы с размером около 4 нм. Также в заметной интенсивности присутствуют кристаллиты с размерами около 6 нм, а доля кристаллитов около ~ 20 нм, если судить по относительной интенсивности ($I/I_1=10$) пика, довольно низкая (табл.1).

Таблица 1

Размеры кристаллитов O-g-C₃N₄, найденных по формуле Шеррера

| № | Пик $2\theta(^{\circ})$ | d (Å)* | I/I_1 | B (FWHM) | D , нм |
|----|-------------------------|----------|---------|------------|----------|
| 1. | 13.2734 | 6.66503 | 34 | 1.384 | 6.04 |
| 2. | 24.9711 | 3.56301 | 18 | 1.455 | 5.84 |
| 3. | 27.1746 | 3.27890 | 100 | 2.181 | 3.92 |
| 4. | 29.5239 | 3.02311 | 13 | 1.500 | 5.72 |
| 5. | 77.4268 | 1.23164 | 10 | 0.572 | 18.59 |

*Примечание: d – межплостное расстояние, $FWHM$ – ширина рефлекса на полувысоте

Получение допированного кислородом графитоподобного нитрида углерода O-g-C₃N₅ из 3-амино-1,2,4-триазола. Одной из причин невысокой активности многих фотокаталитических процессов с участием g-C₃N₄ является его небольшая удельная поверхность, что обусловлено жесткими условиями получения. Поэтому, разработка методов темплатного синтеза графитоподобного нитрида углерода с развитой поверхностью является актуальной задачей. С учетом проведенных исследований синтезирован допированный кислородом графитоподобный нитрид углерода состава O-g-C₃N₅ термической обработкой смеси 3-амино-1,2,4-триазола с KBr в присутствии атмосферного воздуха при температуре 500⁰C в течение 3 часов. Процесс синтеза – O-g-C₃N_x схематически можно представить следующим образом:

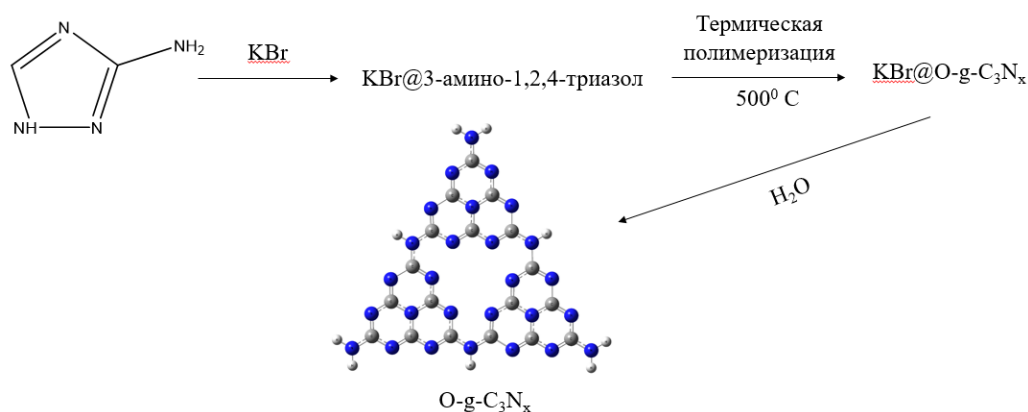


Рис. 1. Схема процесса синтеза допированного кислородом графитоподобного нитрида углерода O-g-C₃N₅

Полученный графитоподобный нитрид углерода идентифицировали методами Фурье-ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа.

На спектре образца, полученного методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье, можно обнаружить различные характерные сигналы. Так, в областях 3242,04 и 2926,01 см^{-1} наблюдаются две широкие полосы, обусловленные коллективными симметричными и антисимметричными колебаниями – NH_2 и – OH ($\nu_{\text{N-H}}$ и $\nu_{\text{O-H}}$) групп. Сигнал в области 667,37 см^{-1} , а также 1232,51 и 1573,91 см^{-1} можно отнести к колебаниям гептазинового кольца. Также обнаруживается полоса поглощения в области 1627,92 см^{-1} , связанной с $\text{C}=\text{N}$ группой.

Дифракционная картина O-g- C_3N_5 имеет аналогичные с O-g- C_3N_4 пики: при $2\theta = 27,14^\circ$, соответствующий плоскости (002) ароматических структур, при $2\theta = 12,83^\circ$ (100), что соответствует повторяющейся в плоскости звену триазола в системе g- C_3N_5 (JCPDS 87-1526). Однако, обнаруживаются новые пики, которые, по-видимому, относятся модификатору KBr, молекулы которого неполностью вымывается из матрицы при обычной обработке водой.

Таблица 2

Размеры кристаллитов O-g- C_3N_5 , найденных по формуле Шеррера

| № | Пик $2\theta(^\circ)$ | d (Å)* | I/I_1 | B (FWHM) | D , нм |
|----|-----------------------|----------|---------|------------|----------|
| 1. | 12.8337 | 6.89238 | 43 | 0.22240 | 37.56 |
| 2. | 14.0779 | 6.28590 | 77 | 0.23700 | 35.29 |
| 3. | 14.2373 | 6.21588 | 85 | 0.18580 | 45.03 |
| 4. | 21.6383 | 4.10368 | 30 | 0.24600 | 34.36 |
| 5. | 27.1386 | 3.28316 | 28 | 0.20380 | 41.90 |
| 6. | 28.0141 | 3.18251 | 53 | 0.44660 | 19.16 |
| 7. | 38.4677 | 2.33832 | 100 | 0.15730 | 55.89 |
| 8. | 44.7109 | 2.02523 | 73 | 0.15370 | 58.39 |
| 9. | 65.0790 | 1.43210 | 28 | 0.16680 | 59.02 |

Размеры кристаллитов O-g- C_3N_5 , определенные на основании данных рентгенофазового анализа по формуле Шеррера, составляют в среднем ~40-50 нм (табл. 2).

Синтез композита графитоподобного нитрида углерода состава O-g- $\text{C}_3\text{N}_5@AgCl$. Из литературы известно, что композит g- $\text{C}_3\text{N}_5@AgCl$ обладает еще большей каталитической способностью во всем видимом диапазоне света, чем свой предшественник g- C_3N_5 . Поэтому нами осуществлен синтез композита допированного кислородом графитоподобного нитрида углерода с нитратом серебра O-g- $\text{C}_3\text{N}_5@AgCl$. Функциональные группы композита O-g- $\text{C}_3\text{N}_5@AgCl$ были подтверждены анализом Фурье-ИК-спектроскопии. Фурье-ИК-спектр O-g- $\text{C}_3\text{N}_5@AgCl$ очень похож на спектр O-g- C_3N_5 с незначительными смещениями длин волн, что подтверждает взаимодействие между $AgCl$ и O-g- C_3N_5 соответственно. Так, в области 324,27 см^{-1} наблюдается широкая полоса, обусловленная коллективными симметричными и антисимметричными колебаниями – NH_2 и – OH ($\nu_{\text{N-H}}$ и $\nu_{\text{O-H}}$) групп. Сигналы в областях 472,56, 667,37 см^{-1} , а также 1228,66 и

1568,13 cm^{-1} можно отнести к колебаниям гептазинового кольца. Также обнаруживается полоса поглощения в области 1625,99 cm^{-1} , связанной с C=N группой.

Дифракционная картина фазы AgCl идеально совпадает с JCPDS: 31-1238. После включения O-g-C₃N₅ полученный композит O-g-C₃N₅@AgCl показал практически такой же дифракционный пик, что и AgCl, что позволяет предположить, что фазы AgCl все еще сохранялись после добавления O-g-C₃N₅. Это может быть связано с относительно плохой кристаллической природой O-g-C₃N₅ по сравнению с AgCl.

Таблица 3

Размеры кристаллитов композита O-g-C₃N₅@AgCl

| № | Пик $2\theta(^{\circ})$ | d (Å)* | I/I_1 | B (FWHM) | D , нм |
|----|-------------------------|----------|---------|------------|----------|
| 1. | 26.1916 | 3.39968 | 43 | 0.78950 | 10.80 |
| 2. | 28.4255 | 3.13738 | 18 | 0.85600 | 10.00 |
| 3. | 32.3206 | 2.76762 | 100 | 1.53720 | 5.62 |
| 4. | 34.1387 | 2.62427 | 34 | 1.41600 | 6.13 |
| 5. | 47.2695 | 1.92140 | 17 | 1.40000 | 6.47 |
| 6. | 50.0632 | 1.82053 | 27 | 1.88000 | 4.87 |

Из результатов расчета размера частиц, проведенных по формуле Шеррера, следует, что в композите происходит структурное изменение по сравнению с предшественником O-g-C₃N₅. Размеры кристаллитов композита находятся в интервале значений ~5-10 нм.

Формирование наночастиц графитоподобных нитридов углерода состава O-g-C₃N_x и композита O-g-C₃N₅@AgCl ультразвуковой обработкой объемного материала. Для получения наночастиц использовали метод ультразвуковой обработки объемного материала в водно-изопропиловом растворе при частоте 50 кГц в течение 6 часов. Гидродинамический размер частиц после диспергирования исследовали методом динамического рассеяния света (ДРС). Результаты исследования представлены на рис.2.

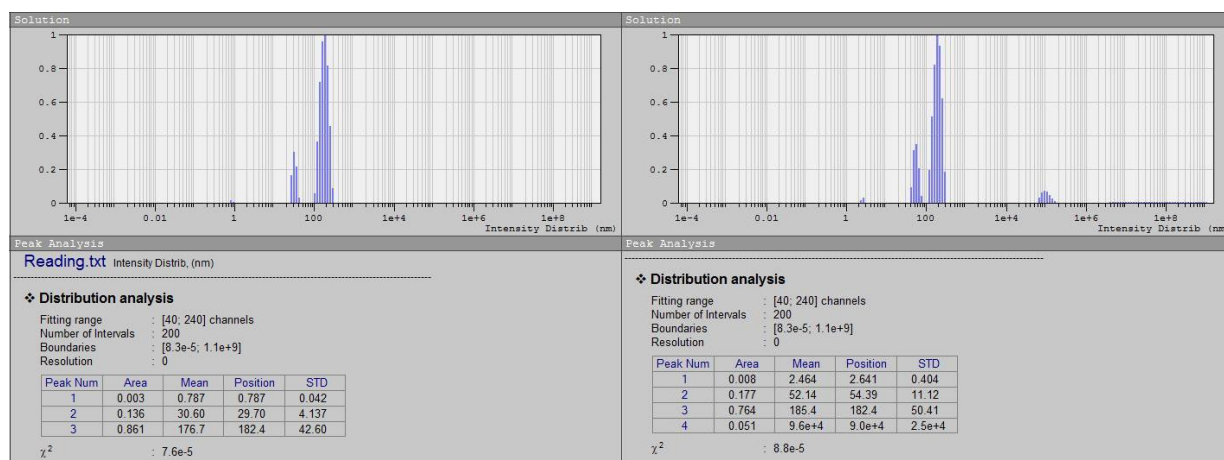


Рис.2. Гидродинамический размер частиц O-g-C₃N₄

Из результатов, представленных на рис.2, видно, гидродинамический размер частиц O-g-C₃N₄ относится к наноуровню, который по составу состоит в основном из частицы двух частей. Основная доля (0,861 или 86,1 %) приходится на частицы с размером 30,6 нм, а остальную часть (0,136 или 13,6 %) составляют частицы с размером 176,7 нм. Однако при разбавлении суспензии картина меняется в сторону увеличения полидисперсности и размеров частиц (рис.2, справа). Увеличение размеров можно объяснить укреплением частиц в результате агломерации в водно-спиртовой среде. Следует отметить, что гидродинамический радиус в общем случае может превышать размеры, получаемые микроскопическими методами, такими как просвечивающая электронная микроскопия, например, из-за формирования сольватной оболочки вокруг исследуемой частицы. Оболочка может образоваться вследствие поляризации ближайшего окружения частицы.

Результаты ДРС-анализа показывают, что по гидродинамическому размеру O-g-C₃N₅ практически состоит из частиц с размерами 45,17 нм (34 %) и 209,1 нм (65,3 %), а композит O-g-C₃N₅@AgCl – 28,92 нм (2,2 %), 262,6 нм (33,9 %) и микроразмерного уровня (63,9 %). Следует отметить, тенденция усиления полидисперсности и укрепления частиц при разбавлении суспензии сохраняются во всех образцах, что свидетельствует в пользу того факта, что реальные размеры частиц меньше чем гидродинамических.

В четвертой главе диссертации под названием «**Исследование физико-химических свойств полученных графитоподобных нитридов углерода**» представлены результаты исследования структурной морфологии и электронного строения полученных материалов с применением современных методов анализа.

Из данных, представленных на рис.3, видно, поверхность O-g-C₃N₄ состоит из неравномерно распределенных иглистых пластинок субмикронной толщины, уходящих вглубь материала. Такая форма кристаллитов, возможно, связано с рекристаллизацией исходных зерен, протекающая в течение длительного времени спекания при высокой температуре и медленного охлаждения.

Поверхность O-g-C₃N₅ неоднородная, в которой прослеживается разрыхленная структура, обусловленная, скорее всего, с образованием пор вследствие выделения аммиака и вымывания KBr дистиллированной водой из матрицы (рис.3б). Изображение поверхности O-g-C₃N_x@AgCl, полученное в режиме Z-контраста, свидетельствует о наличии зернистой структуры (рис.3в).

В ходе исследований размерные свойства частиц изучены также методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Как видно из рис.4, O-g-C₃N₅ состоит из частиц с размерами до 275 нм.

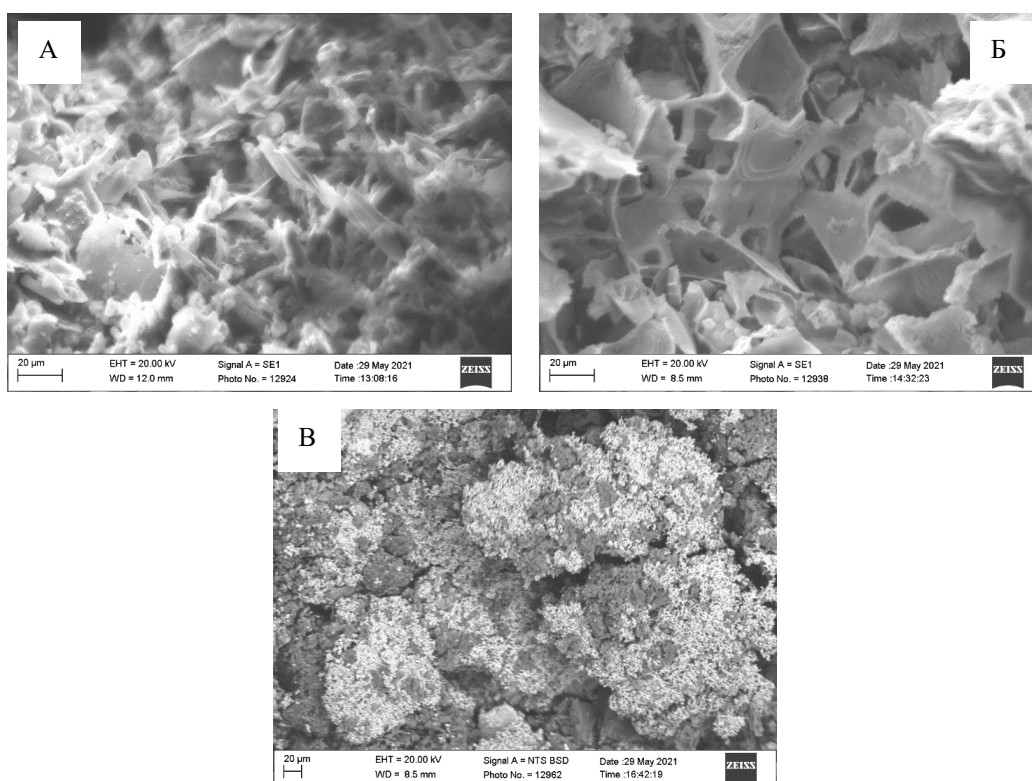


Рис.3. Структурная морфология O-g-C₃N₄ (А), O-g-C₃N₅ (Б) и O-g-C₃N_x@AgCl (В) при 500-кратном увеличении.

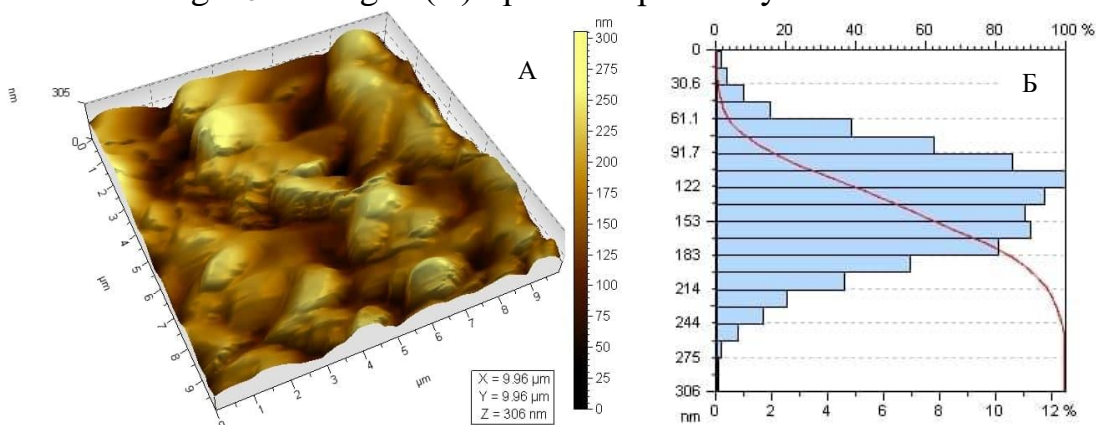


Рис.4. Фазовый АСМ-снимок (А) и гистограмма распределения наночастиц (Б) O-g-C₃N₅.

Пористость полученных образцов исследовали методом изотермической сорбции паров бензола. Из данных, представленных в табл.4, видно, что наиболее развитой пористой структурой обладает O-g-C₃N₅, полученный методом темплатного синтеза в присутствии KBr.

Таблица 4

Поровые характеристики синтезированных материалов

| Образец | Ёмкость монослоя, моль/кг | Удельная поверхность, м ² /г | Средний радиус пор, Å |
|---|------------------------------|--|--------------------------|
| O-g-C ₃ N ₄ | 0.148 | 35.61 | 11.2 |
| O-g-C ₃ N ₅ | 0.635 | 152.84 | 11.4 |
| O-g-C ₃ N ₅ @AgCl | 0.159 | 38.17 | 32.4 |

Поглощающая способность света и оптическая ширина запрещенной зоны фотокатализаторов является важным параметром. Так как полученные материалы не прозрачные, оптические свойства образцов были изучены с помощью измерения спектров диффузного отражения (рис.5а). Из зависимости $(F(R)h\nu)^{1/2}$ от $h\nu$ (кривых Тауца, рис.5б) оценена ширина запрещенной зоны полученных материалов, которые составляют 2,58, 1,96 и 1,41 эВ соответственно для O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅ и O-g-C₃N_x@AgCl. Полученные данные позволяют отметить, что процесс допирования кислородом привело к улучшению полупроводников свойств графитоподобного нитрида углерода, для которого значение E_g составляет, как известно из литературы, в среднем 2,72 эВ.

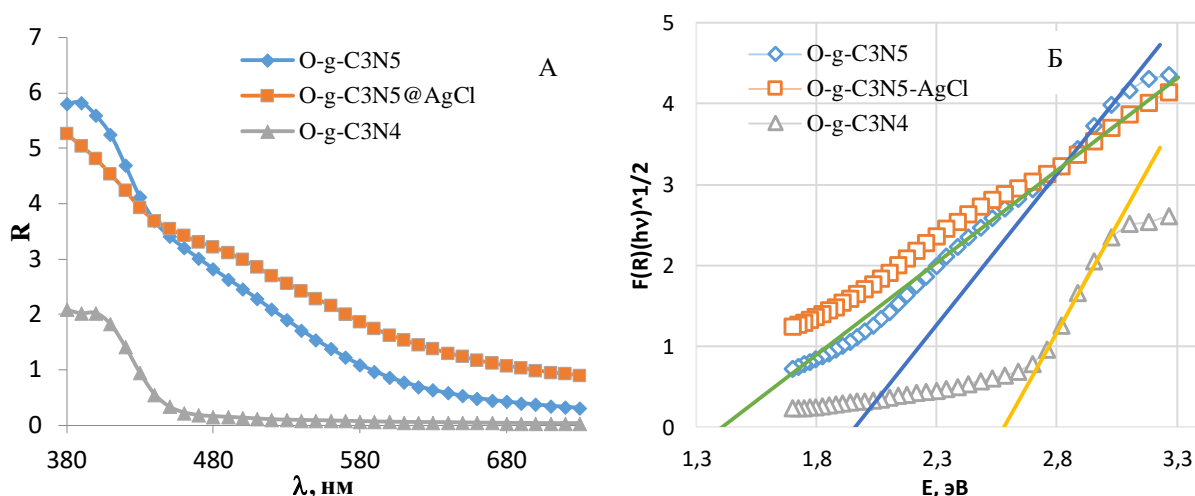


Рис.5. Спектры диффузного отражения (А) и кривые Тауца (Б) синтезированных материалов.

Для сравнения полученных экспериментальных данных проводили квантово-химические расчеты с использованием пакета программ Gaussian 09. На рис.6 представлены некоторые возможные оптимизированные варианты молекулы (фрагмента) O-g-C₃N₄. Расчетные значения граничных орбиталей: высшей занятой молекулярной орбитали (ВЗМО/НОМО) и низшей свободной молекулярной орбитали (НСМО/LUMO), а также ширины запрещенной зоны (E_g) приведены в табл. 5.

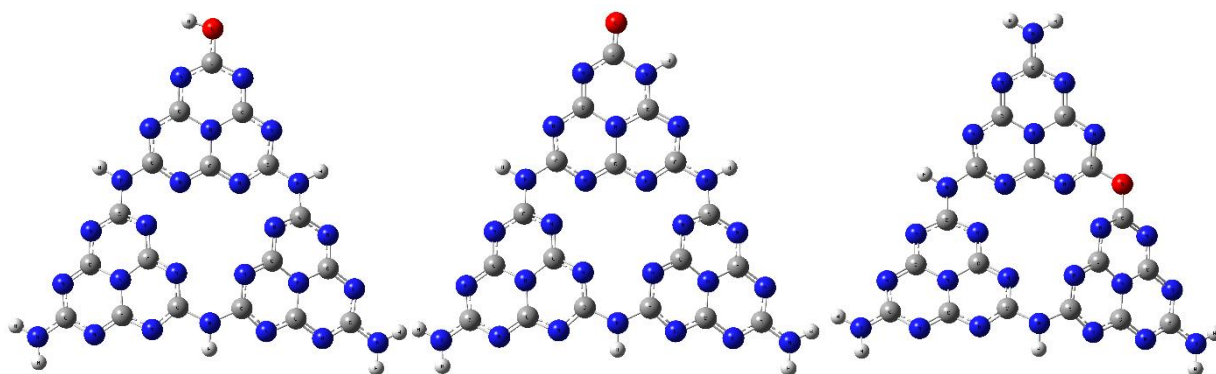


Рис.6. Некоторые возможные молекулярные структуры O-g-C₃N₄, полученные путем оптимизации с помощью пакета программ Gaussian 09

Таблица 5

Значения граничных молекулярных орбиталей и ширины запрещенной зоны для некоторых возможных структур O-g-C₃N₄

| № | ВЗМО, эВ | НСМО, эВ | E_g , эВ |
|-----|----------|----------|------------|
| I | -6.48 | -2.63 | 3.84 |
| II | -6.58 | -2.63 | 3.84 |
| III | -6.51 | -2.46 | 4.05 |

Из данных, представленных в табл.5, видно, что расчетные значения E_g несколько завышены, чем найденные экспериментальным путем. Этот факт можно объяснить тем, что графитоподобный нитрид углерода представляет собой многослойную структуру, а для теоретических расчетов взяты отдельные молекулы.

Методами термогравиметрии (ТГА), дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии в интервале температур 30-700°C выявлено, что полученные графитоподобные нитриды углерода термически устойчивы в широком диапазоне температур, которые даже при ~ 700°C сохраняют около 20-25 % исходной массы.

В пятой главе диссертации под названием «Исследование фотокаталитической активности полученных графитоподобных нитридов под действием УФ-излучения и солнечных лучей» представлены результаты исследования фотокаталитической активности полученных материалов в реакциях разложения родамина Б (рис.7) и пестицидов в УФ- и видимом диапазоне.

Как показывают результаты изучения фотокаталитической деструкции родамина В графитоподобными материалами (O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl) под действием УФ-облучения, синтезированные материалы проявляют высокую активность. При этом среди изученных фотокатализаторов наибольшую активность проявляет образец O-g-C₃N₅@AgCl, где степень деструкции в течение 2,5 часа достигает 34 % (рис.8).

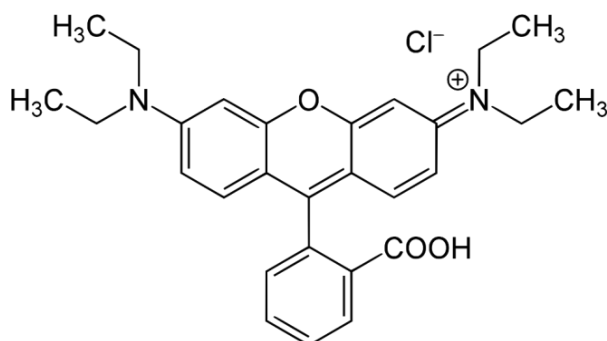


Рис.7. Структурная формула родамина Б

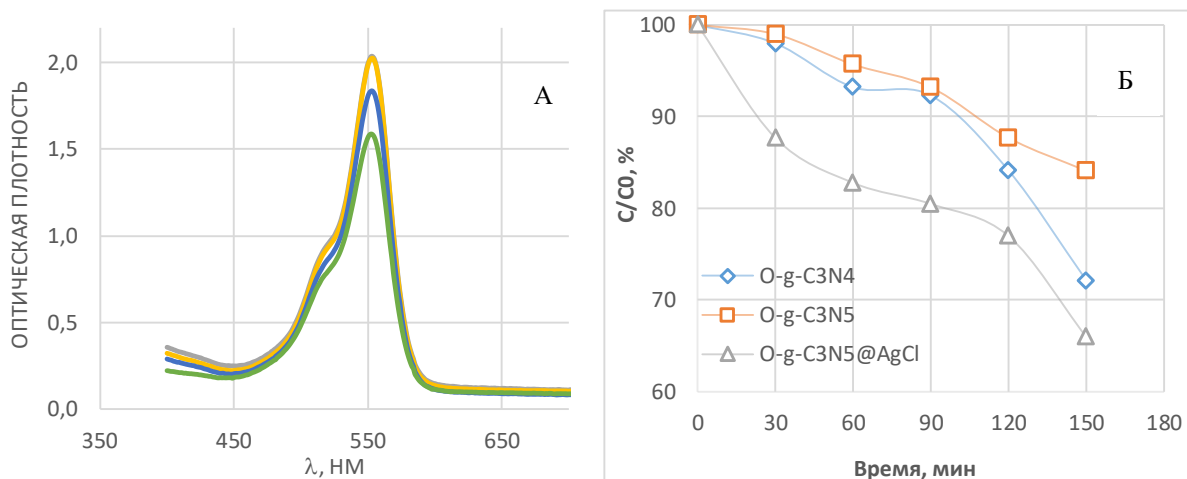


Рис.8. Оптическая плотность водного раствора родамина Б при продолжительности УФ-облучения 0, 30, 60, 90, 120, 150 минут (А) и кинетические кривые фотокаталитического окисления родамина Б в присутствии полученных материалов под воздействием УФ-лучей (Б).

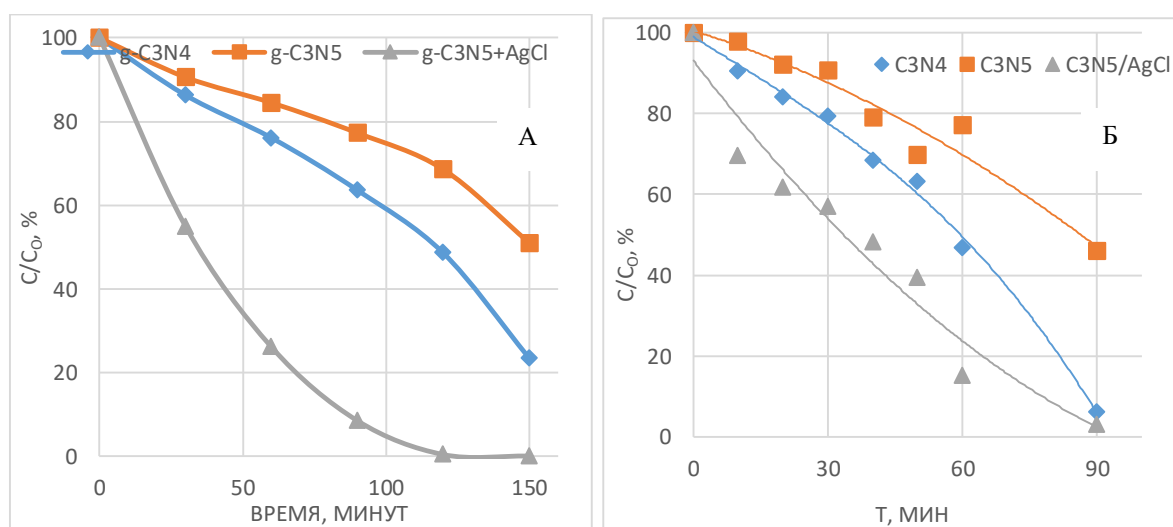


Рис.9. Кинетические кривые фотокаталитического окисления родамина Б в присутствии полученных материалов под воздействием солнечных лучей: А – объемные материалы, Б – наночастицы.

Также было изучены фотокаталитические свойства новых материалов в отношении родамина Б под действием солнечных лучей. На рис.9 представлены кинетические кривые фотокаталитического окисления родамина Б под воздействием солнечных лучей в присутствии полученных объемных материалов и наночастиц O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl.

Из данных, представленных на рис.9а, видно, что наибольшей фотокаталитической активностью обладает композит O-g-C₃N₅@AgCl, который в течение 2 часов практически полностью (99,86 %) разлагает родамин Б под действием солнечных лучей. При этом в условиях фотокатализа (продолжительность – 2 часа, облучение – солнечный свет) O-g-C₃N₄ и O-g-C₃N₅ разлагают родамин Б на 76,5 и 48,9 % соответственно.

Однако, при проведении реакции фотокаталитического разложения родамина Б под действием солнечного света в присутствии наноразмерных

материалов O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl наблюдается ускорение процесса. Как показывают результаты изучения фотокаталитической деструкции родамина В графитоподобными материалами (g-C₃N₄, g-C₃N₅, g-C₃N₅@AgCl), процесс практически завершается в течение 1,5 часа (рис.9б).

В ходе исследований была изучена фотокаталитическая активность полученных материалов в реакциях фотокаталитической деградации пестицидов (ДДТ, ДДД, ДДЕ) в загрязненной почве, взятой из 78-контура Аккурганского района Ташкентской области.

Таблица 6

Результаты фотокаталитической деструкции пестицидов в почве, взятой из 78-контура Аккурганского района Ташкентской области, после обработки в течение 1 сутки синтезированными материалами

| Пест. | Исх. конц., мг/кг | Концентрация и степень фотокаталитической деструкции после обработки пестицидов | | | | | |
|-------|-------------------|---|------|-----------------------------------|------|---------------------------------------|-------|
| | | O-g-C ₃ N ₄ | | O-g-C ₃ N ₅ | | O-C ₃ N ₅ @AgCl | |
| | | мг/кг | % | мг/кг | % | мг/кг | % |
| ДДТ | 312,1 | 0,62 | 99,8 | 0,18 | 99,9 | 0,0 | 100,0 |
| ДДД | 21,0 | 0,35 | 98,3 | 0,39 | 98,1 | 0,2 | 99,05 |
| ДДЕ | 84,0 | 0,06 | 99,9 | 0,08 | 99,9 | 0,0 | 100,0 |

Как видно из представленных в табл.6 данных, синтезированные материалы обладают высокой фотокаталитической активностью в отношении изученных органических загрязнителей природы и окружающей среды. Все использованные фотокатализаторы практически количественно расщепляет пестициды. При этом, среди использованных фотокатализаторов наибольшую активность проявляет O-g-C₃N₅@AgCl. Важно отметить, что активность использованных фотокатализаторов не ограничивается только деструкцией выбранных в качестве объекта пестицидов. Они также разрушают и другие органические загрязнители, присутствующие в составе загрязненной почвы, что доказано методом газовой хроматографии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для получения допированных кислородом наноразмерных графитоподобных нитридов углерода O-g-C₃N_x и композита O-g-C₃N₅@AgCl с улучшенными фотокаталитическими свойствами рекомендовано провести термическую поликонденсацию прекурсоров меламина и 3-амино-1,2,4-триазола в присутствии воздуха с последующим ультразвуковым диспергированием объемного материала.

2. Установлено, что новые материалы состоят из неоднородной кристаллической структуры, объясняемая, по-видимому, с рекристаллизацией исходных зерен в процессе синтеза. Показано, что использование KBr в качестве темплата приводит к разрыхлению структуры O-g-C₃N₅ и увеличению размеров кристаллитов (~ 40-50 нм). Модификация O-g-C₃N₅ с

AgCl приводит к образованию композита O-g-C₃N₅@AgCl с равномерной зернистой структурой.

3. Изотермической адсорбцией паров бензола доказана пористая структура и рассчитаны поровые характеристик полученных материалов. Выявлено, что наибольшей удельной поверхностью (152,84 м²/г) обладает O-g-C₃N₅, высокая пористость данного материала связана, по-видимому, с использованием темплата в процессе синтеза с последующим его вымыванием из структуры материала.

4. Исследованием электронной структуры методом спектроскопии диффузного отражения доказано, что полученные материалы обладают улучшенными полупроводниковыми свойствами, ширина запрещенной зоны O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl составляет 2,58; 1,96 и 1,41 эВ соответственно.

5. Полученные новые материалы (O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl) использованы для фотокаталитического разложения родамина Б под действием УФ-излучения и солнечных лучей. Выявлено, что новые материалы проявляют большую фотокаталитическую активность в области видимого света. При этом среди изученных фотокатализаторов наибольшую активность проявляет образец O-g-C₃N₅@AgCl, где степень деструкции в течение 1,5 часа достигает ~97 %.

6. Показано, что синтезированные фотокатализаторы (O-g-C₃N₄, O-g-C₃N₅, O-g-C₃N₅@AgCl) практически количественно расщепляют пестициды (ДДТ, ДДД, ДДЭ) в загрязненном песке и рекомендованы в качестве эффективных средств для решения проблем экологии и охраны окружающей среды.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.K.01.03 FOR AWARDING
THE SCIENTIFIC DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCES
AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

SIDRASULIEVA GOZZAL BEKBERGENOVNA

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF C₃N_x NANOPARTICLES

02.00.04 – Physical chemistry

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR
OF PHILOSOPHY (PhD) ON CHEMICAL SCIENCES**

Tashkent -2022

The theme of doctor of philosophy (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with registration numbers of B2021.2.PhD/K392.

The dissertation was carried out at the National University of Uzbekistan.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) is available online ik-kimyo.nuu.uz and on the website of "ZiyoNET" information-educational portal www.ziynet.uz.

Scientific consultants: **Kattaev Nuritdin**
doctor of chemical sciences, associate professor

Official opponents: **Ruzimuradov Olim**
doctor of chemical sciences, professor

Sidikov Abdusalol
doctor of chemical sciences, professor


Leading organization: **Institute of General and Inorganic Chemistry**

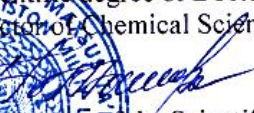
The defense of the dissertation will take place on « 29 » January 2022 at « 11⁰⁰ » at the meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.K.01.03 at the National University of Uzbekistan (Address: 100174, Tashkent, street Universitetical 4. Ph.: (99871)227-12-24, Fax: (99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail:chem0102@mail.ru).

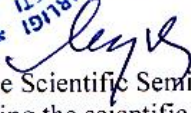
The doctoral dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of National University of Uzbekistan under № 8 (Address: 100174, 4 University street, Tashkent, Administrative Building of the National University of Uzbekistan, tel.: (99871) 246-67-71).


The abstract of the dissertation has been distributed on « 17 » January 2022 year.

Protocol at the register № 3 dated « 17 » January 2022 year.


Z. Smanova
Chairman of the Scientific Council for awarding the scientific degree of Doctor of Sciences, Doctor of Chemical Sciences, professor


D. Gafurova
Scientific Secretary of the Scientific Council for awarding the scientific degree of Doctor of Sciences, Doctor of Chemical Sciences


M. Mukhamediev
Chairman of the Scientific Seminar under Scientific Council for awarding the scientific degree of Doctor of Sciences, Doctor of Chemical Sciences, professor



INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy (PhD) thesis)

The aim of research work is the structural design and determination of the physicochemical properties of low-dimensional oxygen-doped graphite-like carbon nitrides of the composition O-g-C₃N_x.

The objects of research works are oxygen-doped graphite-like carbon nitrides of the composition O-g-C₃N_x and the O-g-C₃N₅@AgCl composite.

Scientific novelty of the research work is follows:

new oxygen-doped graphite-like carbon nitrides O-g-C₃N_x and a composite structure O-g-C₃N₅@AgCl by thermal polycondensation, active in the visible light region, were synthesized;

for the first time nanosized particles were obtained by the method of ultrasonic dispersion of bulk materials of oxygen-doped graphite-like carbon nitrides O-g-C₃N_x and a composite structure O-g-C₃N₅@AgCl;

the features of the surface morphology, structural and dimensional properties of the obtained new oxygen-doped graphite-like carbon nitrides O-g-C₃N_x and the composite structure O-g-C₃N₅@AgCl were established;

the electronic structure and semiconductor properties of synthesized new materials have been established by the method of diffuse light scattering by quantum-chemical research methods.

Implementation of the research results. Based on scientific results on the synthesis of nanosized graphitic carbon nitrides with semiconducting and photocatalytic properties:

new nanosized graphitic carbon nitrides have been introduced into the practice of 'Boston mega tekstil' LLC (Reference of the Committee on Ecology and Environmental Protection of the Republic of Karakalpakstan dated December 5, 2021 No. 02/18-2603). The results of the repeated use of cheap, environmentally friendly reagents made it possible to increase the economic efficiency of the enterprise and improve the environmental situation in the region;

to obtain new compounds, the results of the dissertation research were used within the framework of the applied grant A-ΦA-2019-37 "Development of new generation reagents for preventing sand and salt storms based on the waste of the Kungrad soda plant" (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan dated December 6, 2021 No. 4/1255- 3402). The results made it possible to regulate the physicochemical properties of the reagents by changing the composition and structure, as well as by selecting precursors of different nature.

The structure and volume of the thesis. Dissertation consists of introduction, five chapters, conclusions, list of using literature and appendice. The volume of dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Синтез наноразмерного графитоподобного углерода нитрида g-O-C₃N_x // Universum: химия и биология. – Москва, 2021. – № 12 (90). – С. 84-88 (02.00.00. № 2).
2. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Синтез и физико-химические свойства активного в видимом диапазоне света фотокатализатора O-g-C₃N_x // Композиционные материалы. – Ташкент, 2021. – № 4. – С. 32-35 (02.00.00. № 4).
3. Каттаев Н.Т., Сидрасулиева Г.Б., Акбаров Х.И. Физико-химические свойства графитоподобных наноструктурных фотокатализаторов C₃N_x // Научный вестник СамГУ. – Самарканд, 2021. Спецвыпуск. – С. 97-98 (02.00.00. № 9).
4. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И., Мухиддинов Б.Ф. Графитсимон углерод нитридининг термик баркарорлигини тадқиқ этиш // Наманган муҳандислик-технология институти илмий-техника журнали. – Наманган, 2021. – № 1. – Б. 131-134 (02.00.00. № 19).

II бўлим (II часть; II part)

5. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т. Синтез допированного кислородом графитоподобного нитрида углерода из меламина / Сборник статей XXII Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования актуальные вопросы, достижения и инновации». – Пенза, 2021. – С. 13-15.
6. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Фотокаталитическая деструкция родамина Б графитоподобными материалами состава g-C₃N_x / Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационные решения актуальных проблем в области высокомолекулярных металлоорганических соединений». – Ташкент, 2021. – С. 53-55.
7. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Синтез и исследование физико-химических свойств графитоподобных материалов состава C₃N_x / «Қорақалпоғистон Республикасида кимё ва кимёвий технология соҳалари ривожининг долзарб масалалари» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. – Нукус, 2021. – Б. 165-167.
8. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Графитсимон g-C₃N₅ фотокатализатори синтези ва структуравий морфологияси / «Маҳаллий хомашёлар ва иккиламчи ресурслар асосидаги инновацион технологиялар» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. – Урганч, 2021. – Б. 62-63.

9. Сидрасулиева Г.Б, Каттаев Н.Т, Акбаров Х.И. Графитсимон $g\text{-C}_3\text{N}_4$ фотокатализатори синтези / «Замонавий органик кимёнинг долзарб муаммолари» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. – Қарши, 2021. – Б. 222.

10. Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Графитсимон $g\text{-C}_3\text{N}_4$ фотокатализаторининг термогравиметрик тадқиқ қилиш / «Комплекс бирикмалар кимёсининг долзарб муаммолари» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. – Тошкент, 2021. – Б. 120.

Автореферат «ЎзМУ хабарлари» журнали таҳририятида таҳрирдан
ўтказилди.

Бичими 60x84^{1/16}. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табоғи: 3,75. Адади 100. Буюртма № 28.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.