

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02.30.12. 2019.К/Т.35.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ

АБДУЛЛАЕВ АХРОРЖОН ХАБИБЖОНОВИЧ

**ЮҚОРИ СОРБЦИОН ХУСУСИЯТГА ЭГА БЎЛГАН ТУРЛИ ФАЗОВИЙ
ЎЛЧАМДАГИ МЕТАЛЛ-ОРГАНИК КАРКАСЛАРНИНГ СИНТЕЗИ ВА
ФИЗИК-КИМЁВИЙ ХОССАЛАРИ**

02.00.11 – Коллоид ва мембрана кимёси

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

Тошкент-2025

УДК: 541.183.49; 542.06.08; 538.911

**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**

Абдуллаев Ахроржон Хабибжонович

**Юқори сорбцион хусусиятга эга бўлган турли фазовий ўлчамдаги
металл-органик каркасларнинг синтези ва физик-кимёвий
хоссалари..... 3**

Абдуллаев Ахроржон Хабибжонович

**Синтез и физико-химические свойства металлоорганических
каркасов различных пространственных размеров с высокими
сорбционными
свойствами..... 20**

Abdullaev Ahrorjon Khabibjonovich

**Synthesis and physicochemical properties of metal-organic frameworks
with various spatial dimensions possessing high sorption
characteristics..... 38**

Эълон қилинган нашрлар рўйхати Список опубликованных работ

List of published works..... 42

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02.30.12. 2019.К/Т.35.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ

АБДУЛЛАЕВ АХРОРЖОН ХАБИБЖОНОВИЧ

**ЮҚОРИ СОРБЦИОН ХУСУСИЯТГА ЭГА БЎЛГАН ТУРЛИ ФАЗОВИЙ
ЎЛЧАМДАГИ МЕТАЛЛ-ОРГАНИК КАРКАСЛАРНИНГ СИНТЕЗИ ВА
ФИЗИК-КИМЁВИЙ ХОССАЛАРИ**

02.00.11 – Коллоид ва мембрана кимёси

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

Тошкент-2025

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамаси ҳузурдаги Олий аттестация комиссиясида В2024.2.PhD/К793 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Умумий ва ноорганик кимё институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида www.ioyx.uz ва «Ziynet» ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Якубов Йўлдош Юсупбоевич
кимё фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Эргашев Ойбек Каримович
кимё фанлари доктори, профессор
Рўзимуродов Олим Нарбекович
кимё фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент кимё-технология институти

Диссертация химояси Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузурдаги DSc.02.30.12.2019.К/Т.35.01 рақамли Илмий кенгашнинг « 17 март » 2025 йил соат 10:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90, e-mail: ioyx@academy.uz.

Диссертация билан Умумий ва ноорганик кимё институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси, 77-а. Тел.: (99871) 262-56-60); факс: (+99871) 262-79-90).

Диссертация автореферати 2025 йил « 05 » март куни тарқатилди.

(2025 йил « 05 » мартдаги № 2 - реестр баённомаси)



Б.С.Закиров
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш раиси, к.ф.д., проф.

Д.С.Салиханова
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш котиби, т.ф.д., проф.

Н.Д.Эшметов
Илмий даража берувчи илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси, т.ф.д., проф.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда энергетика, кимё, фармацевтика ва бошқа саноат тармоқлари жадал ўсиши билан бирга бир қанча глобал муаммоларни ҳам келтириб чиқармоқда. Атроф-муҳитни муҳофаза қилишда ҳаво ифлосланишини камайтириш ва углерод чиқиндиларини ушлаб қолиш, водород ва бошқа энергия ташувчиларни самарали сақлаш масалалари, юқори технологияларга асосланган энергия тизимларини ривожлантиришда, кимё ва саноат тармоқлари учун бирикмаларни ажратиш ҳамда катализ ва сенсор технологиялар соҳаларида кимёвий моддаларни қўлланилиши туфайли экологияни ифлосланиши технологик тараққиётнинг ажралмас қисмига айланмоқда. Шунинг учун, юқори сорбцион хусусиятларга эга бўлган турли фазовий ўлчамдаги металл-органик каркас (МОК)ларни синтез қилиш ва уларнинг физик-кимёвий хусусиятларини чуқур ўрганиш нафақат илмий, балки технологик ва экологик нуқтаи назардан ҳам муҳим аҳамият касб этади.

Бугунги кунда жаҳонда юқори сорбцион хусусиятларга эга металл-органик каркаслар (МОК) синтези ва уларнинг физик-кимёвий хоссаларини аниқлаш бўйича кўплаб илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, МОКларнинг кимёвий таркиби ва фазовий структурасини аниқлаш; спектроскопик таҳлиллар ёрдамида улар таркибидаги функционал гуруҳлар ва боғларни ўрганиш; термик барқарорлигини таҳлил қилиш, Хиршфелд сирт юзаси ҳамда кристалл бўшлиқ ҳажмларини ҳисоблаш, спектроскопик таҳлиллар орқали металл-органик каркаслар таркибидаги функционал гуруҳ ҳамда боғлар табиатини аниқлаш; металл-органик каркасларнинг фазовий ўлчамларига кўра термик барқарорлигини ўзаро солиштириб таҳлил қилиш алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамызда кимё саноатининг янги турдаги материалларини ишлаб чиқариш, жумладан маҳаллий бозорни импорт ўрнини босувчи адсорбентлар билан таъминлаш бўйича назарий ва амалий натижаларга эришилмоқда. Янги Ўзбекистоннинг 2022-2026 йиллардаги тараққиёт стратегиясида иқтисодий ривожлантиришнинг устувор йўналишлари белгиланган ва “маҳаллий хомашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни янада жадаллаштириш, сифат жиҳатдан янги маҳсулот ва технология турларини ўзлаштириш”¹ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, иқтисодий тизимнинг етакчи тармоқларидан бири бўлган кимё саноатини ривожлантиришда юқори сорбцион хусусиятга эга бўлган адсорбент синтез қилиш ва тадқиқ этиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 25 октябрдаги «Ўзбекистон Республикасида кимё саноатини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-3983-сон, 2019 йил 3 апрелдаги «Кимё саноатини яна-да ислоҳ қилиш ва инвестицион жозибadorлигини ошириш» даги ПҚ-4265-сон ҳамда 2020 йил 12 августдаги “Кимё ва биология йўналишларида узлуксиз таълим сифатини ва илм-фан натижадорлигини ошириш чора-тадбирлари

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сонли “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони

тўғрисида” ги ПК-4805-сонли Қарорлар, 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сонли «2022–2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни бажаришга ушбу диссертация иши тадқиқот натижалари муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. SCOPUS ва WEB OF SCIENCE базаларига “coordination polymer” ва “metal organic framework” каби калит сўзларни киритиш орқали охириги 10 йил мобайнида чоп этилган 666 та илмий нашр қамраб олинди. Ушбу илмий нашрларни таҳлил қилганда қуйидаги маълумотларга эга бўлдик: энг кўп илмий нашрлар чоп этган мамлакатларга Хитой — 221 та, Япония — 99 та, Ҳиндистон — 74 та ва бошқалар киради. Китагава С., Федин В.П., Жанг Ж.П., Чен Х.М. ва бошқа олимлар сўнгги 10 йилликда энг кўп илмий иш чоп этганлар. Илк бор Омар М. Яги ва унинг жамоаси металл-органик каркасларни фанга олиб кирганлар.

Ўзбекистонда етук олимлардан К.С. Ахмедов бошчилигида илмий мактаб яратилган бўлиб, унинг вакилларида Е.А. Арипов, А.А. Агзамхўжаев, С.С. Хамраев, Ғ.У. Раҳматқариев, С.З. Мўминов, С.А. Абдурахимов, С.Н. Аминов, У.К. Ахмедов, Х.И. Акбаров, Г.Р. Нарметова, И.Д. Ешметов, Д.С. Салиханова, О.Н. Рўзимуродов, Й.Й. Якубов, Ш.А. Қўлдашева, Д.Ж. Жумаева, О.К. Эргашев, А.Б. Абдикамалова ва бошқалар турли кўмир, синтетик ҳамда табиий минерал сорбентлар намуналарида ҳар хил адсорбатларнинг адсорбция хоссаларини тадқиқ этганлар. Сорбцион хоссага эга бўлган координацион бирикмаларнинг синтези, тузилиши ва хоссалари бўйича тадқиқотлар академиклар Н.А. Парпиев ва Б.Т. Ибрагимов, профессорлар А.Б. Ибрагимов, Х.Т. Шарипов, Б.Б. Умаров, А.А. Шабилотов, Т.А. Азизов, Х.Х. Тўраев, Ж.М. Ашуров ва Ш.А. Қодирова томонидан амалга оширилган.

Адабиётлардан бизга маълум бўлдики, халқаро Кембриж Кристаллографик Маълумотлар Маркази (CCDC) да нашр этилган ва сақланган бирикмалар сони сезиларли даражада ошиб бормоқда. 2017 йилда Кембриж Кристаллографик Маълумотлар Марказида 70 000 та МОКлар мавжуд эди. Икки йил ўтиб, 2019 йил августга келиб бу рақам 96 000 тага етди, яъни ҳар ойда 1 000 га яқин янги бирикмалар синтез қилинган. 2020 йил январь ҳолатига кўра бу сон 99 075 тага етди. 2023 йил апрель ҳолатига кўра эса 118 000 тадан ортиқ эканлиги эълон қилинган. Бу маълумотлардан кўриниб турибдики, металл-органик каркасларни ўрганиш жадал равишда ўсиб бормоқда.

Адабиётлар таҳлилидан маълум бўлишича, мамлакатимизда металл-органик бирикмалар кам ўрганилган. Бу соҳадаги маълумотлар деярли йўқ. Металл-органик каркасларни ўрганиш жараёнида п-, м-сулфанил кислоталари, калий тартрат ва этилиндиямитетраатсетат кислотанинг динатрийли тузи (EDTA-N₂Na₂·2H₂O) (Трилон Б) нинг Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) катионлари билан бирикмалари кам ўрганилганлиги аниқланган.

Диссертация тадқиқотининг бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги. Диссертация ишида қилинган тадқиқотлар 2021-2025 йилларга мўлжалланган ЎзР ФА Умумий ва ноорганик кимё институти FZ-20200929348 рақамли “Фенол кислоталари асосидаги супрамолекуляр комплексларнинг тузилиши билан уларнинг ўсимликларни абиотик ва биотик салбий таъсирлардан ҳимоя қилиш” мавзусидаги Давлат фундаментал гранти ва 2024-2025 йилларга мўлжалланган AL-7623031231 сонли “Сиклопента диенил темир дикарбонил димер асосида углеродли нанонайлар синтез қилиш ва уларни физик-кимёвий хусусиятларини ўрганиш” мавзули Ўзбекистон ва Туркменистон амалий қўшма лойиҳаси асосида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади п-, м-сулфанил кислоталари, калий тартрат ва этилендиаминтетраатсетат кислотанинг динарийли тузи ($\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б) нинг Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) катионлари билан марказий атом сифатида метал сақлаган металл – органик каркасларни синтез қилиш, таркиби, кристалл тузилиши, физик-кимёвий ва сорбцион хоссаларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари: п-, м-сулфанил кислоталари, калий тартрат ва этилендиаминтетраатсетат кислотанинг динарийли тузи ($\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б) нинг Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) катионлари билан металл-органик каркасларнинг монокристалларини синтез қилиш, мақбул шароитларини аниқлаш ҳамда синтез жараёнида ҳосил бўлган коллоид эритманинг хусусиятларини ўрганиш;

монокристалл рентген дифрактометр ускунаси орқали олинган металл-органик каркасларнинг монокристалларини кимёвий таркиби ва фазовий структурасини аниқлаш;

олинган металл-органик каркасларнинг монокристалларини халқаро Кембриж маълумотлар базаси орқали янгилигини исботлаш;

спектроскопик таҳлиллар орқали металл-органик каркаслар таркибидаги функционал гуруҳ ҳамда боғлар табиатини аниқлаш;

металл-органик каркасларнинг фазовий ўлчамларига кўра термик барқарорлигини ўзаро солиштириб таҳлил қилиш;

олинган металл-органик каркасларнинг Хиршфелд сирт юзаси ҳамда кристалл бўшлиқ ҳажмларини ҳисоблаш;

синтез қилинган 1D, 2D металл-органик каркасларда сув ва бензол буғлари, шунингдек, қуйи ҳароратли азот адсорбцияси натижалари таҳлили.

Тадқиқотнинг объекти сифатида п-, м-сулфанил кислоталари, калий тартрат ва этилендиаминтетраатсетат кислотанинг динарийли тузи ($\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б) ва уларнинг Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) металл тузлари ҳамда олинган металл-органик каркас бирикмалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети 3D, 2D металллар билан сулфанил ва тартрат кислота изомерлари ва Трилон Б ҳосил қилган комплекслар, уларнинг кристалл тузилиши, сорбцион ҳамда физик-кимёвий хоссалари, субстрат-лиганд координацион комплекси ташкил этган.

Тадқиқотнинг усуллари. Тайёрланган диссертация ишида рентген тузилиши таҳлили (РТТ), термик таҳлиллар (DSC, DTA ва TG), ИҚ-спектроскопия, бензол, сув буғи ва қуйи ҳароратли азот сорбцияси, кондуктометрия усули, ультрабинафша спектрофотометрия, кукуни рентген дифракция, янги квант-кимёвий назарий усуллар ҳамда замонавий компьютер дастурларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

металл-органик каркаслар синтезида ҳар бир модда учун синтез шароитлари, яъни $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ бирикма 80°C ҳароратда 72 соатда 61 %, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ бирикма 50°C ҳароратда 72 соатда 65 %, $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ бирикма учун 40°C ҳароратда 72 соатда 61 %, $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7, (\text{H}_2\text{O})_2]_n$ бирикма учун 30°C ҳароратда 7 кунда 58 %, $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$ бирикма учун 90°C ҳароратда 48 соатда 55 %, $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$ бирикма учун 30°C ҳароратда 7 кунда 53 % унум билан чиқиши аниқланган;

МОКларнинг синтез босқичида ҳосил бўлган коллоид эритмасининг заррачалар ўлчамини 3D ҳолатдаги тақсимооти, концентрацияси ва нур синдириш интенсивлиги аниқланиб, унга кўра юқори концентрация 97-159 nm оралиғидаги заррачалар учун кузатилди, асосий заррачалар ўлчамлари 58 дан 230 nm гача эканлиги аниқланган.

синтез жараёнида сирт фаол модданинг қўлланилиши натижасида юқори сирт майдонли металл-органик каркас ҳосил бўлиши асосланган;

металл-органик каркас адсорбциясида ҳосил бўлган гистеризис ҳалқаси H_2 типиди эканлиги, CrystalExplorer дастури ёрдамида ғовак шакли пластинкасимон бўлган адсорбентларники каби ёриқсимон ғовак кўринишга эга эканлиги кузатилди шунингдек бу кўрсаткичларни структура ва адсорбцион маълумотларни бир-бирига мос эканлиги исботланган;

бир ва икки фазовий ўлчамли металл-органик каркаслар яъни, $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ нинг ($S_{\text{ВЕТ}}$) сирт юза си $305,8 \text{ m}^2/\text{g}$ га тенг бўлиб, сув молекулалари адсорбцияси ($22,904 \text{ mmol}/\text{gr}$) ҳамда катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дихидрати] таҳлил қилинган МОК лар ичида энг юқори солиштирма сирт юза қийматга эга бўлиб, унинг қиймати $1036,96 \text{ m}^2/\text{g}$ га ва адсорбцион ҳажми $\text{HK} = 3,55 \text{ cm}^3/\text{g}$ га тенглиги аниқланган;

Янги синтез қилинган $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ металл-органик каркасларнинг ион концентрацияси 2,14 ppt ва 1.971 ppt ҳамда электр ўтказувчанликлари 4,29 mS ва 3.94 mS га тенг эканлиги исботланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

олинган янги авлод металл-органик каркасларнинг синтез шароитлари физик-кимёвий ҳамда адсорбцион хусусиятлари келажакда бир қанча соҳаларда юқори самарали сорбент ва катализатор олиш имкониятлари яратилган;

синтез қилинган МОК ёрдамида нефтларни қуритишда ва таркибидан бензолни тозалаш усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги Рентген тузилиш таҳлили (РТТ), термик таҳлиллар (DSC, DTA ва TG), ИҚ-спектроскопия, бензол, сув буғи ва қуйи ҳароратли азот адсорбцияси, кондуктометрия усули, ультрабинафша спектрофотометрия, кукуни рентген дифракция, янги кванта-кимёвий назарий

усуллар ҳамда компьютер дастурлари каби замонавий тадқиқот усуллари ва саноатда ишлаб чиқариш корхоналари далолатномалар ёрдамида асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларига илмий аҳамият шундан иборатки, п-, м-сулфанил кислоталари, калий тартрат ва этилендиаминтетраатсетат кислотанинг динарийли тузи (EDTA- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б) иштирокида Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) каби металллар билан юқори сорбцион хусусиятга эга бўлган янги турдаги металл-органик каркасларини синтез қилишнинг мақбул шароитлари ва физик-кимёвий, коллоид шунингдек сорбцион хоссаларини аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларида амалий аҳамияти $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ва $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ металл-органик каркасларнинг тузилиш маълумотлари Кембридж кристаллографик тузилиш маълумотлар базасига жойлаштирилганлиги, шунингдек, кимё ва кимёвий технология соҳасида магистрлар ва бакалаврларни тайёрлаш учун ўқув жараёнида қўлланишда хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Юқори сорбцион хусусиятга эга бўлган металл-органик каркасларни синтези, кристалл тузилиши ва сорбцион хусусиятлари бўйича қилинган тадқиқот натижалари асосида:

$[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ металл-органик каркасларнинг рентген тузилиш таҳлили натижалари Кембридж кристаллографик маълумотлар базасига киритилган (<https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> CCDC депозит рақами №2280080, №2336258, №2383711). Натижада, ушбу маълумотлар базасига киритилган синтез қилинган бирикмалар шу турдаги янги металл-органик каркасларни олишда, мумкин бўлган боғланиш турларини ҳамда сирт юза ва ғовак хусусиятларини олдиндан аниқлашда ҳамда тузилишини тавсифлаш имкониятини берган;

$[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ янги синтез қилинган металл-органик каркаслар нефть маҳсулотларини қайта ишлашда муаммо бўладиган карбонат ангидрид ва бензол каби бирикмалардан тозалашда, ҳамда қуритиш усули «Фарғона НКИЗ» МЧЖ «Ўзбекнефтгаз» АЖининг 2025-2026 йилларда амалиётга жорий этиладиган истиқболи ишланмалар рўйхатига киритилган. («Ўзбекнефтгаз» АЖининг 2024 йил 5 сентябрдаги 01-03-02/131-сон маълумотномаси). Натижада нефть маҳсулотларини қайта ишлаш жараёнида таркибидаги карбонат ангидрид ва бензол бирикмалардан тозалаш шунингдек сув буғларидан қуритиш имконини беради.

Тадқиқот натижаларига апробацияси. Мазкур тадқиқот иши натижалари 17 та жумладан, 12 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий конференцияларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларига эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 22 та илмий иш эълон қилинган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та

илмий мақола, жумладан, 3 та республика ва 3 та Scopus базасида индексацияланган нуфузли хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва илова(лар)дан иборат. Диссертациянинг ҳажми 119 бетни ташкил этади.

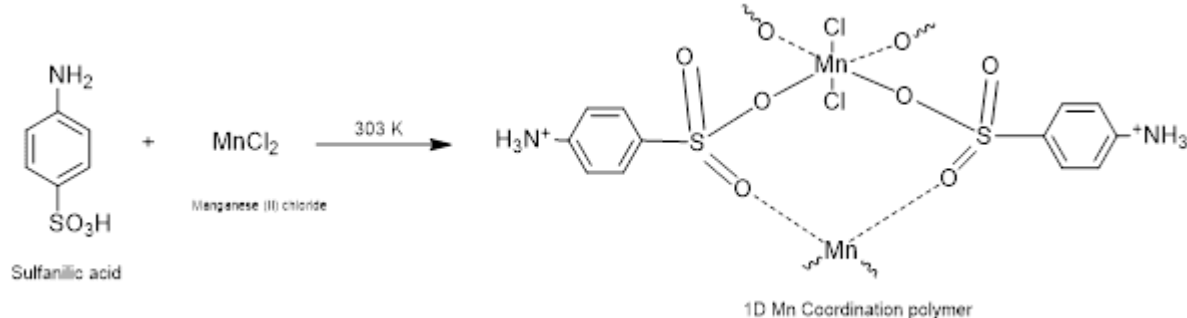
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва муҳимлиги асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгиланган, унинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баян қилинган, уларнинг ишончилиги асосланган, тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, амалиётга жорий қилиш истиқболи борасида хулосалар чиқарилган ҳамда чоп этирилган ишлар ва диссертациянинг таркиби тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Металл-органик каркасларнинг ўзига хос ноёблиги, тузилиши, адсорбцион ва физик-кимёвий хоссалари (адабиётлар таҳлили)”** деб номланган биринчи бобида келтирилган адабиётлар шарҳидан бизга металл-органик каркаслар гибрид, яъни органик лиганд ва ноорганик металл ионлари ташкил топган кўп функцияли янги бирикмалар эканлиги маълум бўлди. Металл-органик каркасни ҳосил қилишда лигандларнинг ўрни катта аҳамият касб этади. Органик лигандлар ташкил топган бирикмалар ноорганик лигандлардан ташкил топган бирикмаларга нисбатан кенг имкониятлари бор эканлиги маълум бўлди. Металл-органик каркасларни ҳосил бўлишида реакцион муҳит муҳим аҳамият касб этади. Реаксия вақтида бирикманинг морфологиясига концентрация, эритувчи тури, рН муҳит, ҳарорат ва бошқа омиллар таъсир қилади. Боғловчи лигандлар ичидан сулфанил кислотаси изомерлари ва трилон Б полимер ҳосил қилгани билан ажралиб туради. Синтез усулларини классик, замонавий ва инноватив каби турларга бўлиш мумкин. Металл-органик каркаслар юқори сирт ва ғовакликка эга бирикма бўлганлиги сабабли газларни сақлаш, ажратиш, оғир металлларни йутувчи ва бир қатор хоссаларни намоён қилади.

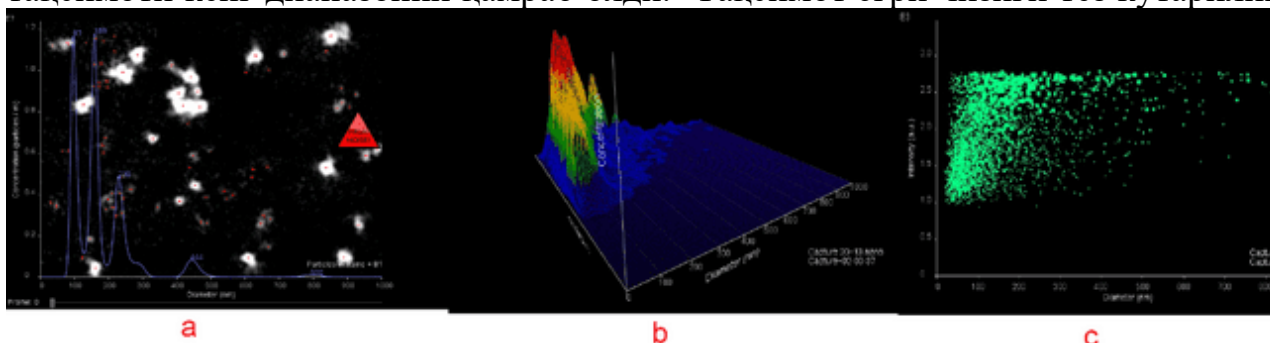
Диссертациянинг **“Объектлар, синтез жараёнлари ва тадқиқот услублари”** деб номланган иккинчи бобида диссертация тадқиқоти доирасида фойдаланилган асбоб-ускуналар ва реагентлар тавсифи, бирикмаларни синтез усулларини танлашга ёндашув, Илк бор Mn(II), Pb(II), Cu(II), Zn, Fe(III) металлларининг нитрат, хлорид, ацетат, тузлари билан п-, м-сулфанил кислоталари, калий тартарат ва этилендимантетраатсетат кислота-нинг динатрийли тузи (EDTA-H₂Na₂·2H₂O) (Трилон Б)нинг 6 та металл-органик каркас синтези келтирилган (1-расм). Янги синтез қилинган металл-органик каркасларнинг кимёвий формулалари қуйидагича: [Mn₂(C₆H₇NO₃S)₂Cl₄O₄]_n, Na[Fe(C₁₀H₁₂N₂O₈)(H₂O)]·2H₂O, [ZnC₄H₇O₇(H₂O)₂]_n, [CoC₄H₅O₇(H₂O)₂]_n, [Cu₂C₉H₂₁N₂O₉]_n, [Pb(C₆H₆NO₃S)₂]_n Ушбу металл-органик каркаслар хоссаларини ўрганиш мақсадида TG/DTA, FTIR ва УБ-кўринидиган спектрометриялар, элементар таҳлил, электр ўтказувчанлик, гравиметрия ҳамда

қуйи ҳароратда азот адсорбцияси каби физик-кимёвий тадқиқот усуллари шунингдек кукуни ва ягона кристалли рентген дифрактометриянинг таҳлиллар билан қўплаб физик-кимёвий хоссалари ўрганилди. Металл-органик каркаснинг



1-расм. Катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сулфонато)-дихлоро-ди-марганец(II)] нинг ҳосил бўлиш реакцияси.

юқоридаги усуллари ёрдамида ҳамда тузилишларини монокристалл рентген дифрактометрия орқали олинган натижаларни таҳлил қилган ҳолда, уларнинг марказий атоми атрофида тетраэдрик, октаэдр, тетрагонал-пирамида геометрияларининг ҳосил бўлиши аниқланди. Олинган натижаларни атрофлича таҳлил қилиш орқали керакли хулосалар олинди. МОКларнинг синтез босқичида ҳосил бўлган коллоид эритмасининг заррачалар ўлчамининг 3D ҳолатдаги тақсимоти 2б-расмда кўрсатилган. Синтез қилинган заррачаларнинг ўлчам тақсимоти кенг диапазонни қамраб олди. Тақсимот эгри чизиги тез қўтарилиш



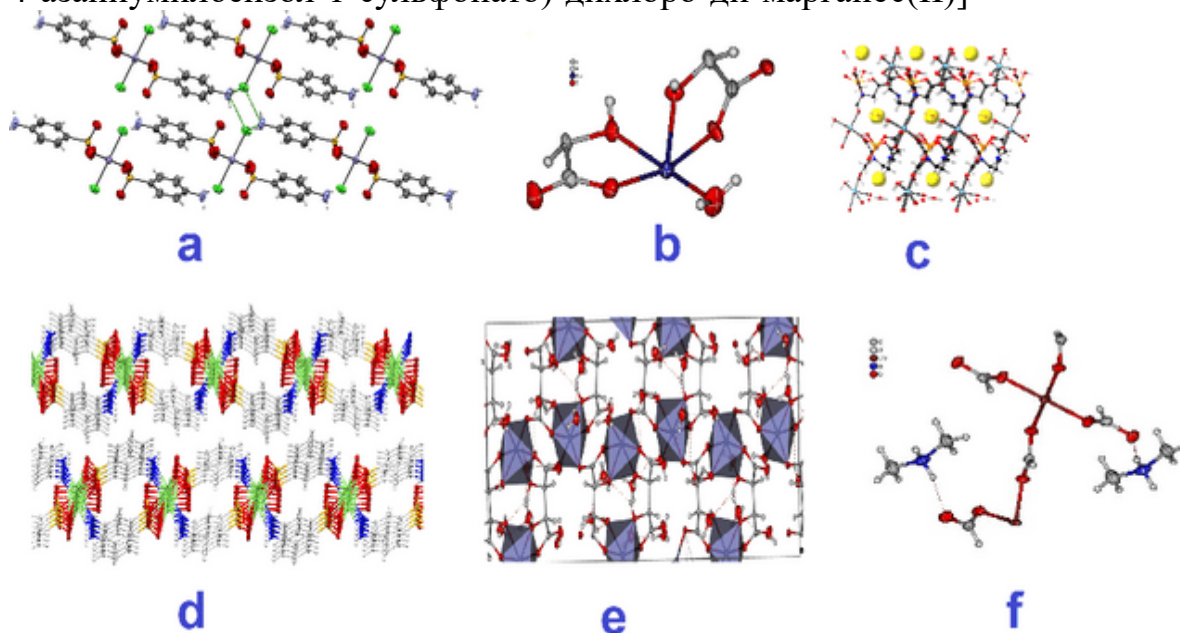
2-расм. МОКнинг коллоид эритмасидаги заррачалар ўлчамининг концентрацияси (а), 3D ҳолатдаги тақсимоти (б), нур синдириш интенсивлик (с).

ва пасайиш билан аниқ чоғқиларни намоён қилди (2а-расм). Энг юқори концентрация 97-159 nm оралиғидаги заррачалар учун кузатилди, асосий заррачалар ўлчамлари 58 дан 230 nm гача эканлиги аниқланди.

Диссертациянинг “**Металл-органик каркасларнинг молекуляр ва кристалл тузилишлари, хоссалари**” деб номланган учинчи бобида бирикмаларни монокристалл рентген дифракцияси, ИҚ ва УВ-спектроскопияси, термик таҳлиллари, кукунгли рентген дифракцияси, электр ўтказувчанлик каби бир қанча таҳлиллар билан қўплаб физик-кимёвий хоссалари ўрганилди.

МОКларнинг синтез қилиб олинган 6 та янги МОКларнинг монокристалл рентген дифракцияси натижалари асосида махсус “Mercure” ва “OLX” компьютер дастурлари асосида уларнинг кимёвий таркиб ва структуралари келтирилган. Бир фазовий ўлчамли металл-органик каркаслардан $[Mn_2(C_6H_7NO_3S)_2Cl_4O_4]_n$,

$[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$ ҳамда икки фазоли металл-органик каркаслардан $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7, (\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ физик-кимёвий хоссалари ўрганилди. Масалан, катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато)-дихлоро-ди-марганес(II)]

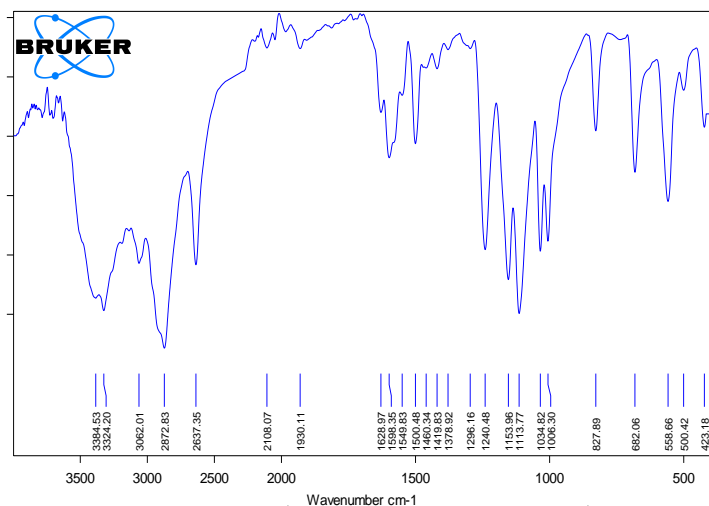


3-расм. Синтез қилинган комплекс бирикмаларнинг молекуляр тузилиши. а) $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, б) $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$, в) $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, д) $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$, е) $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, ф) $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7, (\text{H}_2\text{O})_2]_n$.

МОКнинг асимметрик бирлиги MnCl_2 ва бир сулфанил кислота боғланган бўлиб, моноклиник кристалл тизимида 1D занжирни ҳосил қилади. Ҳар бир марганес маркази октаҳидрал тарзда иккита аксий хлорид ва экваториал планда тўртта кислород (тўрт $\text{C}_6\text{H}_7\text{NSO}_3$ бирлиги) билан боғланган (3-расм). Полимер занжир SO_3 орқали кўприк сифатида таъминотланган. MnCl_2O_4 да боғланиш бурчаклари $80.16(10)\text{-}95.31(9)^\circ$ оралигида бўлиб, энг паст ва энг юқори қийматлар O1-Mn1-O1 $[3/2\text{-}x, y, 1\text{-}z]$ ва O3 $[x, 1+y, z]$ - Mn1-O3 $[3/2\text{-}x, y, 1\text{-}z]$ бурчаклари учун берилган $\text{SO}_2\text{O-Mn-OSO}_2$. Ушбу кўприқлар $\text{Mn}\dots\text{Mn}$ орасида 5.595 \AA масофани сақлаган 1D алмаштирилган.

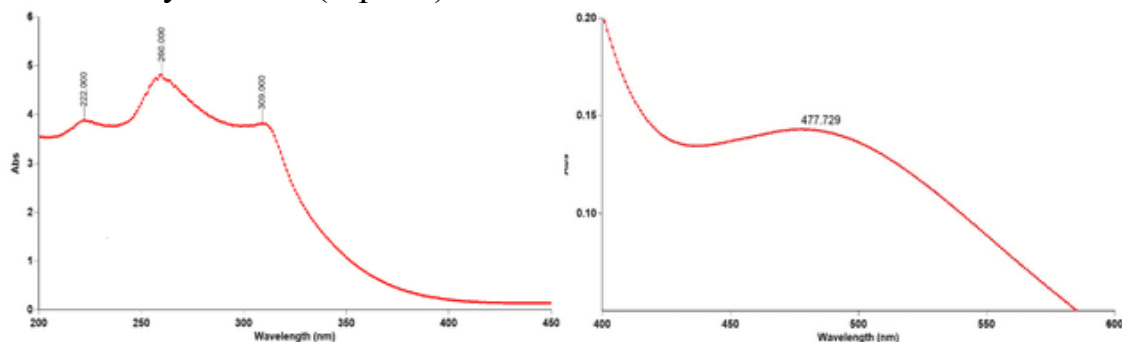
Катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати] да эса темир(III)нинг бузилган октаэдрал координацияси билан тавсифланади (3-расм). Темир атомининг координациясида EDTAнинг икки азот ва уч кислород атомлари, шунингдек, бир молекула сув мавжуд бўлиб, у сферик координацияни ҳосил қилади. Лиганд таркибидаги -COO^- гуруҳининг бири темирга боғланган, иккинчиси эса натрий ионига боғланган. Натрий октаэдрал координация билан бешта EDTA молекуласи ва бир молекула сув билан боғланган бўлиб, полимерик тузилма ҳосил қилади. Fe атофидаги масофалар ва бурчаклар қуйидагича: Fe-O боғланишлари учун: $\text{Fe1-O3} = 1.977(2) \text{ \AA}$, $\text{Fe1-O5} = 2.122(2) \text{ \AA}$, $\text{Fe1-O6} = 1.969(2) \text{ \AA}$ ва $\text{Fe1-O7} = 2.099(2) \text{ \AA}$; Fe-N боғланишлари учун: $\text{Fe1-N1} = 2.319(2) \text{ \AA}$ ва $\text{Fe1-N2} = 2.318(2) \text{ \AA}$. Хулоса ўрнида каркасларнинг структура таҳлил натижалари

МОКларнинг қолган физик-кимёвий хоссаларини таҳлили учун муҳим маълумот бўлиб хизмат қилади.



4-расм. Катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сулфонато)-дихлоро-ди-марганец(II)]нинг ИҚ спектри.

интенсивликда кузатилди. Унинг деформация тебранишлари ν_s 1628.97 cm^{-1} ва ν_s 1598.35 cm^{-1} да, ўртача ютувчи майдонда рўй берди. Шунингдек, $-\text{NH}_3^+$ гуруҳининг тексликдан ташқарисидаги тебранишлари 827.89 cm^{-1} оралиғида паст интенсивликда кузатилди (4-расм).



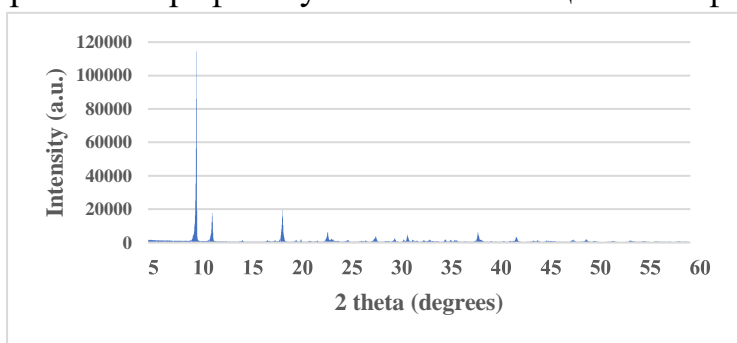
5-расм. Катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати] учун УВ спектрлари. (а) темир иони учун д-д ўтиш ҳудуди.

3062.01 cm^{-1} да, ароматик ҳалқадаги молекуланинг C-H боғланишлари тебранишларга учради, бу инфратузилмада 1500.48 cm^{-1} да кичик миқдорда ютувчи ҳолат билан кузатилди. Бирикмадаги сулфо гуруҳининг S-O боғланишларининг валент тебранишлари ν_s 1240.48 cm^{-1} ва симметрик валент тебранишлари ν_s 1153.96 cm^{-1} да намоён бўлди. Ушбу боғланишнинг деформация тебранишлари юқори интенсивликда 1113.77 cm^{-1} оралиғида кузатилди. МОКларда УБ-спектроскопия таҳлил қилишдан мақсад боғлар таркибида электрон кўчишлари орқали каркасни шаклланиши билиб олиш мумкин. Темирнинг ушбу 2D координация полимерининг тузилиши УБ спектрофотометрик асбоб ёрдамида 200-1100 nm узунлик диапазонида таҳлил қилинди. Электромагнит тўлқинлар (УБ) таъсирида 478 nm (20932 cm^{-1}) максимал ютувчи узунлик (λ_{max}) аниқланиб, бу темир 3^+ ионининг 3d босқичларда (d→d) ўтишларини кўрсатди. Ушбу ўтишлар темир ва трилон Б ўртасида координация

боғланишининг ҳосил бўлишини исботлайди. Бу кузатиш, лигандларнинг координация бирикмаларининг металл марказига боғланганлигини англатади (5-расм).

УБ-спектроскопия электромагнит тўлқинлар таъсирида 222 nm (45045 cm^{-1}) λ_{max} да трилон Б даги кислород атомларининг бўлинмаган электрон жуфтлари ўтиши, $n \rightarrow \sigma$, кузатилди. Бундан ташқари, 260 nm да $n \rightarrow \pi$ ўтишлари электромагнит тўлқинлар таъсирида аниқланган, бу тўлқин узунлиги 38462 cm^{-1} га тенг. Шунингдек, ўртача ультрабинафша (УБ) нурлари таъсирида бирикмадаги сув молекулаларидаги кислород атомларининг $n \rightarrow \sigma$ ўтишлари 309 nm (33557 cm^{-1}) λ_{max} да аниқланган. Ўрганилган каркасларда муҳим хусусиятлардан монокристалл рентген дифрактометр натижаларини янада тўлдириш мақсадида куқунли рентген дифрактометр натижалари келтириб ўтилди.

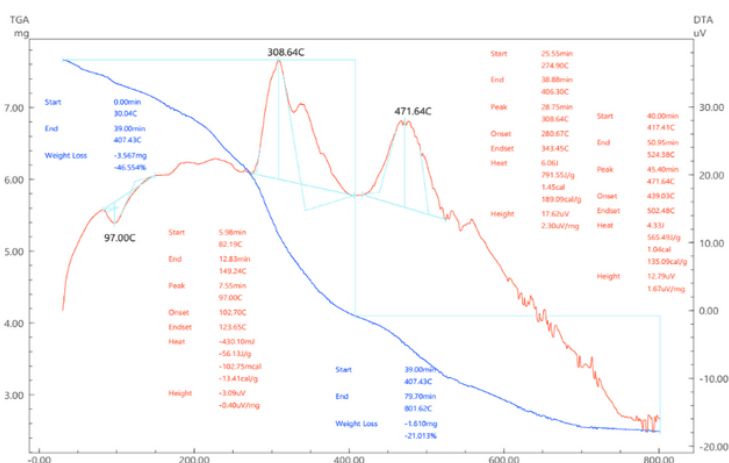
Катена-[бис(μ -3-аминобензолсульфонат) қорғошин(II)]нинг куқунли кристаллографик тузилишини аниқлаш ва фазавий тозалигини аниқтасдиқлаш



6-расм. Катена-[бис(μ 3-3-аминобензенесулфонато) олтингурут(II)]нинг PXRD нақшлари.

аниқлаштирилди, натижада $a = 16.4 \text{ \AA}$, $b = 5.3 \text{ \AA}$ ва $c = 17 \text{ \AA}$ қийматлар олинди.

Чўққи ҳолатлари ва интенсивликлари бир-бирига мослиги яхши тартибга



7-расм. Катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати]нинг термик таҳлили.

мақсадида куқунли рентген дифрактометрсияси (PXRD) таҳлили ўтказилди. PXRD пикларида бир нечта аниқ ва яққол чўққилар кузатилди, бу эса намунанинг кристалл табиатида далолат беради. Дифракциянинг ёрқин чўққилари 2θ нинг 10.4° , 12° , 19.05° ва 23.6° қийматларида қайд этилди. Панжара кўрсаткичлари энг кичик квадратлар усули билан солинган кристалл тузилишни билдиради. Кўшимча чўққиларнинг йўқлиги синтез қилинган намунада сезиларли аралашмалар ёки иккиламчи фазалар йўқлигини кўрсатади (6-расм).

Ушбу бобда бирикмаларни дериватограмма (TG ва DTA) таҳлиллари ўрганилди. Дифференциал термик таҳлил натижаларига кўра металл-органик каркасларнинг деградацион ҳарорати асосан $300 \text{ }^\circ\text{C}$ дан юқорида кузатилиб, икки

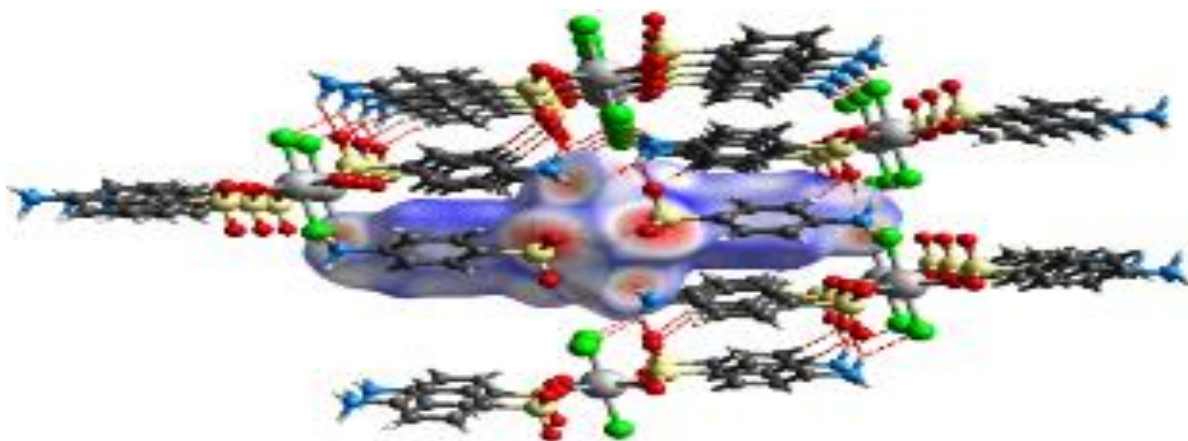
фазавий ўлчамли катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III)

дигидрати] металл-органик каркаснинг экзотермик чўққиси 308 °С га нисбатан, бир фазавий ўлчамли катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато)-дихлоро-ди-марганес(II)] металл-органик каркаснинг экзотермик чўққиси 503.63 °С га тенг бўлиши фазавий структурани ўлчамини ортиши билан ДТА қийматининг камайиши кузатилган (7-расм). Катена-[бис(μ-3-аминобензолсульфонат) қорғошин(II)] да TG-DTA таҳлили шуни кўрсатадики, 20-800 °С ҳарорат оралиғида иккита алоҳида ҳудудда сезиларли масса йўқотилиши содир бўлди, бу эса якуний маҳсулот сифатида қорғошин(II) сульфид ҳосил бўлиши билан металл-органик каркаснинг парчаланишини кузатилди (2-жадвал).

2-жадвал. МОКларнинг термик таҳлил натижалари

Металл-органик каркасларнинг номи	Масса йўқотилиши (%)	Қолдик моддалар (%)	Эндотермик жараён (DTA) °С	Экзотермик жараён (DTA) °С
Катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато)-дихлоро-ди-марганес(II)]	87.1	12.9	140.39°C, - 235.27 J/g	503.63°C, +458.82 J/g
Катена-[бис(формато)мис(II) диметиламин]	73.2	26.8	193.81°C, - 2.72 mkV	503.63°C, - 1.78 mkV
Катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати]	67.567	32.433	97°C, 56.13 J/g	471.64°C, +791.55 J/g
Катена-[бис(μ-3-аминобензолсульфонат) қорғошин(II)]	49.615	50.385	175.59°C, - 2.54 mkV	444.89°C, -4.4 mkV
Катена-[бис(1,4-тартарато) кобальт(II) дигидрат]	67.3	32.7	194.16°C, - 1.10 mkV	564.11°C, - 1.78 mkV
Катена-[бис(1,4-тартарато) рух(II) дигидрат]	62.06	37.94	232.15°C, - 2.72 mkV	465.27°C, - 1.78 mkV

Электр ўтказувчанликни ўрганиш полимерланган металл ва эритма ўртасидаги жараён ҳақида маълумот беради. Ушбу кузатув координацион полимер марказий металининг дастлаб эритмадаги сув молекулалари билан ўзаро солватланиб, ҳарорат ошиши билан алоҳида ион комплекслар ҳосил қилиши

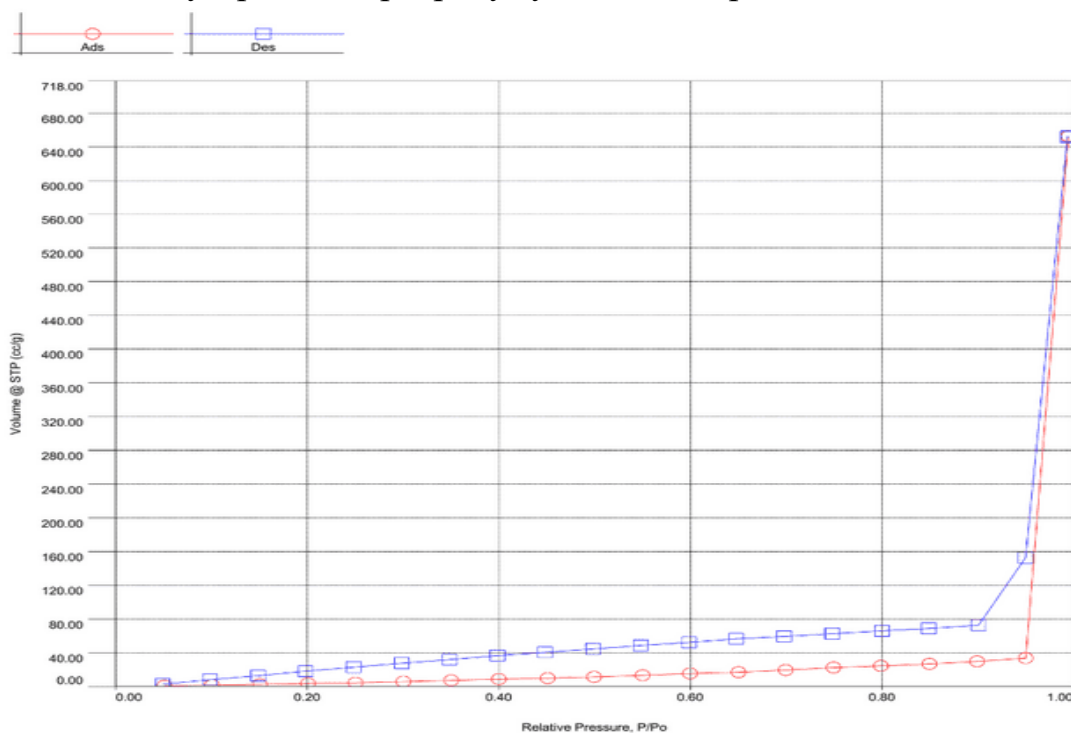


8-расм. Бирикманинг $[Mn_2(C_6H_7NO_3S)_2Cl_4O_4]$ молекуляр фрагменти учун *dnorm* бўйича ҳисобланган Хиршфелд сиртлари тасвири.

натижасида электр ўтказувчанлигини ҳам ошишига сабаб бўлган. Металл-органик каркасларнинг фазавий ўлчамлари ошиши билан уларнинг электр тўки ўтказувчанлигини ошиши кузатилди.

Диссертациянинг “**Металл – органик каркасларнинг сорбцион хусусиятлари ва Хиршфелд сирт таҳлили**” деб номланган тўртинчи бобда тадқиқотлар давомида синтез қилинган бир фазавий ўлчамли $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$ ва $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ лар ва икки фазавий ўлчамли $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7, (\text{H}_2\text{O})_2]_n$ ва $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ сорбентларнинг солиштирма сирт майдони (S) адсорбциянинг тузилмавий параметрларидан Брунауэр, Эмметт, Теллер (БЕТ) назарияси тенгламалари Маг-Бен-Бахра қурилмасига сув ва бензол адсорбциялари ҳамда қуйи ҳароратда азот адсорбцияси ва DFT таҳлили ёрдамида аниқланди. CrystalExplorer дастурида Хиршфелд сирт юзаси таҳлили ҳамда Crystal void дастури ёрдамида металл-органик каркас кристаллар таркибидаги бўшлиқ хусусиятлари таҳлил қилинди, шунингдек сорбцион хусусиятлари ўрганилди. Металл-органик каркасларда Хиршфелд сирт юзаси натижалари асосида ғоваклардаги яқин юзаларда жойлашган Ван Дер Валс кучлари натижасида фаол марказлар аниқланган (8, 11-расмлар).

Мисол учун, $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$ да $\text{H} \cdots \text{O} / \text{O} \cdots \text{H}$ ва $\text{N1} - \text{H1C} \cdots \text{Cl1}$ ўзаро таъсирлари мос равишда 28,3 % ва 29,6 % ни ташкил этган; $[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ да $\text{O} \cdots \text{H} / \text{H} \cdots \text{O}$ ва $\text{H} \cdots \text{H}$ ўзаро таъсирлари умумий микдорнинг 54,8 ва 27,7 % ни

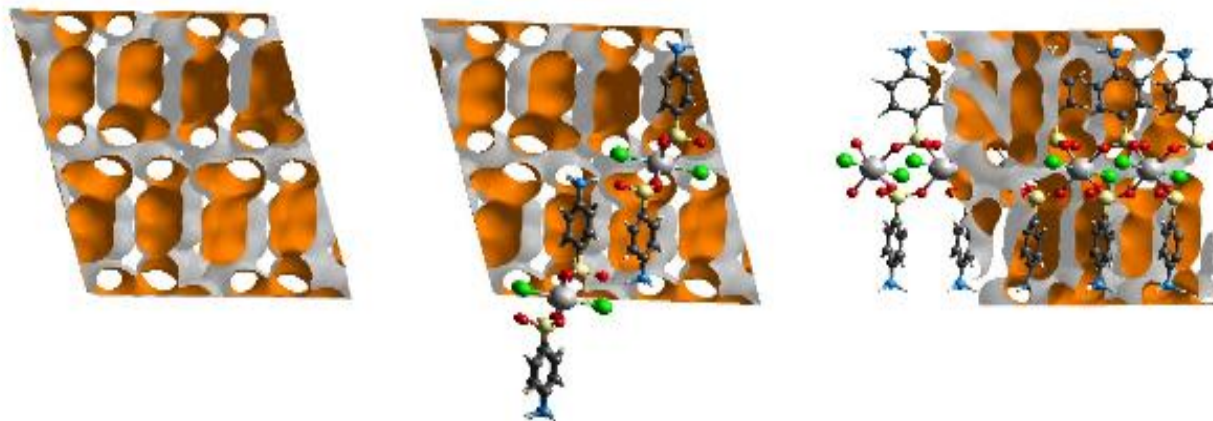


9-расм. Катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати]нинг азот адсорбцион изотермаси.

ташкил этган; $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ металл-органик каркасинг Хиршфелд сиртини шакллантиришда асосий ҳиссани $\text{O} \cdots \text{H} / \text{H} \cdots \text{O}$ ўзаро таъсири (32,1 %) ва $\text{H} \cdots \text{H}$ ўзаро таъсири (24,8 %) ташкил этганлиги исботланган. $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$, $[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ ва $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ металл-органик каркас ғоваклари бир

қатор фаол марказлар билан сув молекулалари адсорбцияси натижасида ион-молекуляр комплексларни ҳосил қилган, бунда 22,9; 27,94 ва 10,1 ммоль/г адсорбат ютувчи фаоллик кўрсатилган (10-расм).

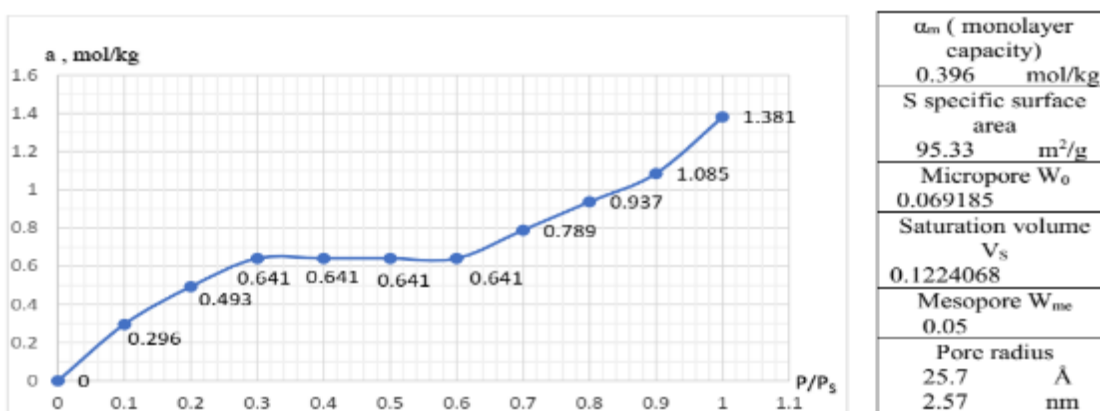
Бу кўрсаткич бензол молекулалари билан эса Т- ва π - π комплекслар ҳосил қилган ҳолда мос равишда 0,849 ммоль/г, 1,38 ммоль/г ни ташкил этган,



11-расм. Катена-[бис(μ -4-азаниумилбензол-1-сулфонато)-дихлоро-ди-марганец(II)] нинг кристалл таркибидаги бўшлиқларнинг ифодаланиши.

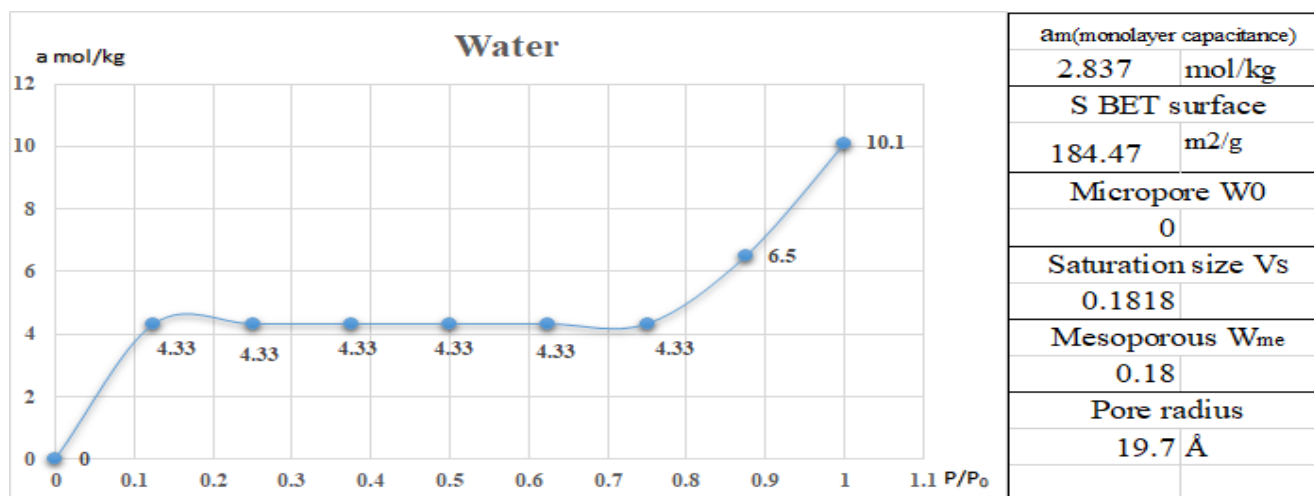
$[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ каркасда эса бензол деярли адсорбцияланмаган (12-расм). Қуйи ҳароратдаги азот адсорбцияси натижаларига кўра изотерма IUPAC бўйича V турга тегишли бўлиб, гистерезис ҳалқаси H3 типиде эканлиги аниқланган.

Ягона кристалл рентген дифрактометридан олинган маълумотлар CrystalExplorer дастури орқали таҳлил қилиниб, ғоваклик шакли пластинкасимон адсорбентлар ҳосил қилувчи ёриқсимон ғовакликка эга бўлганлиги кўрсатилган. Қуйи ҳароратдаги азот адсорбция натижаларига кўра катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати] энг юқори сорбцион қийматга эга бўлиб, унинг солиштирма сирт майдони ($S_{\text{ВЕТ}}$) 1036,96 $\text{m}^2/\text{г}$ ва адсорбцион ҳажми (НК) 3,55 $\text{cm}^3/\text{г}$ га тенг бўлган (9-расм).



12-расм. Катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраатсетат)-темир(III) дигидрати] нинг бензол буғи адсорбцияси изотермаси

Координацион бирикмаларда марказий атом Хиршфелд сиртини шаклланишига кам таъсир кўрсатиши кузатилган бўлса-да, ушбу бирикмада марказий атом бўлган қорғошин сиртнинг ташқи ва ички қисмларига бирдек



10-расм. Катена-[бис(μ3-3-аминобензолсулфонат) кўрғошин(II)] нинг сув буғи адсорбцияси изотермаси.

таъсир кўрсатганлиги қайд этилган. Бу эса полимер координацион бирикмада кўрғошиннинг кристалл тузилишдаги муҳимлигини кўрсатади. Шундан келиб чиқиб, d-металлларга нисбатан p-металллар Хиршфелд сиртига кўпроқ ҳисса кўшиши исботланган.

Говаклик шакли ва ўлчами азот адсорбция изотермасидан олинган гистерезис ҳалқаси маълумотлари билан DFT таҳлили натижалари қиёсланган. Натижада, говаклик пластинкасимон адсорбентлар ҳосил қилувчи НЗ типдаги ёриқсимон структурага мос келганлиги кўрсатилган.

Амалга оширилган тадқиқот натижалари амалиётда «Фарғона НКИЗ» МЧЖда синовдан ўтган ва ижобий натижага эришилди. Олинган натижалар асосида келажакда турли соҳаларда, шу жумладан, нефть ва нефть маҳсулотларини қуриштириш, тозалаш ва юқори самарали катализатор сифатида ишлатиладиган маҳаллий хом ашёлардан металл-органик каркаслар олишда илмий асос бўлиб хизмат қилади.

3-жадвал. МОКларнинг азот адсорбциясига асосланган текстура хусусиятлари

Азот адсорбциясига асосланган текстура ҳисоблаш усуллари	1D Mn	1D Cu	2D Fe	2D Pb	2D Zn	2D Co
S _{BET} , m ² /g	305,8	352,31	1036,96	383,108	533,23	484,51
t-Plot Micropore Area, m ² /g	45,4	47,69	161,56	50,4	164,12	112,45
t-Plot external surface area, m ² /g	114,3	107,16	484,15	206,4	206,11	246,12
Cumulative surface area of mesopores (ВН), m ² /g	208,6	222,69	832,20	220,8	346,84	309,41
t-Plot micropore volume, cm ³ /g	0,25	0,227	0,40	0,28	0,85	0,46
Mesopores cumulative volume, cm ³ /g	0,78	0,973	1,075	0,147	1,08	0,98
Maximum pore volume (HK), cm ³ /g	1,56	0,056	3,55	0,96	1,83	1,45
Average pore diameter (4V/A by BET), Å	108,18	110,52	209,64	106,62	108,18	120,3

Median pore width, Å	30,2	16,37	70,97	20,4	28,6	26,4
Average pore hydraulic radius (V/A by MP method), Å	20,12	90,39	10,44	16,12	10,56	11,23

ХУЛОСАЛАР

1. Синтез жараёнида сирт фаол моддаларни қўлланиши туфайли 1D, 2D, 3D металл-органик каркасларнинг ҳосил бўлишида тегишли равишда фазовий ўлчамнинг ортиб бориши кузатилди.

2. МОКларнинг синтез босқичида ҳосил бўлган коллоид эритмасининг заррачалар ўлчами 58 дан 230 нм гача эканлиги ва энг юқори концентрация 97-159 нм оралиғидаги заррачалар эканлиги аниқланди.

3. Металл-органик каркасларни синтез қилишда ҳарорат муҳим эканлиги, яъни фазовий ўлчам сони ошиши билан ҳароратнинг камайиши аниқланди. Бир фазовий ўлчамли катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато)-дихлоро-ди-марганес(II)] металл-органик каркас учун оптимал ҳарорат 80 °С, икки фазовий ўлчамли катена-[натрий аква-(этилендиаминтетратсетат)-темир(III) дигидрати]_n металл-органик каркас учун 50 °С, икки фазовий ўлчамли катена-(бис(μ-3-аминобензолсульфонат) кўрғошин(II)) металл-органик каркаси учун эса 40 °С эканлиги аниқланди.

4. Координацион бирикмаларда марказий атом Ҳиршфелд сирт юзасини шаклланишига сезиларли таъсир кўрсатмайди. Бирок, ушбу бирикмада марказий атом бўлган кўрғошин юзанинг ички ва ташқи қисмларида ҳам сирт ҳосил бўлишига ҳисса қўшаётгани кузатилди. Бу эса полимер координацион бирикманинг кристалл тузилишида кўрғошин муҳим аҳамиятга эга эканлигини кўрсатади. Бу билан d-металл элементларига нисбатан p-металл элемент атомлари Ҳиршфелд сирт юзасига кўпроқ ҳисса қўшиши кузатилди.

5. Дифференциал термик таҳлил натижаларига кўра металл-органик каркасларнинг деградацион ҳарорати асосан 300 °С дан юқорида кузатилиб, икки фазовий ўлчамли катена-[натрий аква-(этилендиаминтетратсетат)-темир(III) дигидрати] металл-органик каркасининг экзотермик чўққиси 308 °С га нисбатан, бир фазовий ўлчамли катена-[бис(μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато)-дихлоро-ди-марганес(II)] металл-органик каркасининг экзотермик чўққиси 503,63 °С га тенг бўлиши фазовий структуранинг ўлчамини ортиши билан ДТА қийматининг камайиши кузатилган.

6. Металл-органик каркасларда фазовий ўлчам сони ортиши билан сирт майдони ҳамда ғоваклилик қиймати нисбатан юқори бўлиши кузатилди. Бунда икки фазовий ўлчамли катена-[натрий аква-(этилендиаминтетратсетат)-темир(III) дигидрати]_n металл-органик каркас $S_{\text{ВЕТ}} = 1036,96 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ ва $D_{\text{p-micro}} = 1,4 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$, бир фазовий ўлчамли катена-[бис(формато)-мис(II) диметиламин]_n металл-органик каркас $S_{\text{ВЕТ}} = 247,7 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ ва $D_{\text{p-micro}} = 0,53 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$ га тенглиги аниқланди.

7. DFT ва CrystalExplorer дастури таҳлиллари натижаларига кўра икки фазовий ўлчамли металл-органик каркасларда мезоғоваклар нисбатан кўпроқ учраши аниқланди.

8. $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$, $[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ ва $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ металл-органик каркас ғовакларининг бир қанча фаол марказлари билан сув

молекулалари адсорбцияси натижасида ион-молекуляр комплексларни ҳосил қилиб, бунда жами мос равишда 22,9; 27,94 ва 10,1 ммоль/г миқдорда адсорбат ютувчи ҳосил бўлди. Бу кўрсаткич $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$ ва $[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ металл-органик каркасларда бензол молекулалари билан эса π - ва π - π комплекслар ҳосил қилиб, мос равишда 0,849 ммоль/г, 1,38 ммоль/г адсорбциялангани маълум бўлди.

9. Амалга оширилган тадқиқот натижалари амалиётда «Фарғона НКИЗ» МЧЖда синовдан ўтган ва ижобий натижага эришилди. Олинган натижалар келажакда турли соҳаларда, шу жумладан, нефть ва нефть маҳсулотларини қуриштириш, тозалаш ва юқори самарали катализатор сифатида ишлатиладиган маҳаллий хом ашёлардан металл-органик каркаслар олишда илмий асос бўлиб хизмат қилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02.30.12.2019.К/Т35.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ИНСТИТУТЕ**

ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

АБДУЛЛАЕВ АХРОРЖОН ХАБИБЖОНОВИЧ

**СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ РАЗЛИЧНЫХ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРОВ С ВЫСОКИМИ
СОРБЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия

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

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистана за номером В2024.2.PhD/K793

Диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.iopx.uz и Информационно-образовательном портале «Ziyounet» по адресу www.ziyounet.uz.

Научный руководитель:	Якубов Юлдош Юсупбоевич доктор химических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Эргашев Ойбек Каримович доктор химических наук, профессор Рузимуродов Олим Нарбекович доктор химических наук, профессор
Ведущая организация:	Ташкентский химико-технологический институт

Защита состоится « 17 » март 2025 г. в « 10:00 » часов на заседании Научного совета DSc.02.30.12.2019.K/T35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: iopxanguz@mail.ru

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за № 2, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а). Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90.

Автореферат диссертации разослан « 05 » март 2025 года.
(Реестр за № 2 от « 05 » 2025 года).



Закиров Б.С.

Председатель научного совета по присуждению
ученой степени, д.х.н., проф.

Салиханова Д.С.

Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученой степени, д.т.н., проф.

Ч.И.Д. Эшметов

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученой степени, д.т.н. проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD)).

Актуальность и востребованность темы диссертации. Сегодня в мире наряду со стремительным ростом энергетической, химической, фармацевтической и других отраслей промышленности возникает ряд глобальных проблем. Загрязнение окружающей среды становится неотъемлемой частью технологического прогресса из-за необходимости снижения загрязнения воздуха и удержания выбросов углерода в целях охраны окружающей среды, эффективного хранения водорода и других энергоносителей, развития энергосистем, основанных на высоких технологиях, выделения соединений для химической и промышленной отраслей, а также использования химических веществ в области катализа и сенсорных технологий. Поэтому синтез металлоорганических каркасов (МОК) различных пространственных размеров с высокими сорбционными свойствами и углубленное изучение их физико-химических свойств является актуальной задачей не только с научной, но и с технологической и экологической точек зрения.

В настоящее время в мире проводится множество научных исследований по синтезу металлоорганических каркасов (МОК) с высокими сорбционными свойствами и определению их физико-химических характеристик. В этой области особое внимание уделяется определению химического состава и пространственной структуры МОК; изучению функциональных групп и связей в их составе с помощью спектроскопического анализа; анализу термической стабильности, расчету площади поверхности Хиршфельда и объема кристаллических пустот, определению природы функциональных групп и связей в металлоорганических каркасах посредством спектроскопического анализа; сравнительному анализу термической стабильности металлоорганических каркасов в зависимости от их пространственных размеров.

В нашей республике достигаются теоретические и практические результаты в области производства новых видов материалов для химической промышленности, в частности, по обеспечению местного рынка импортозамещающими адсорбентами. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены приоритетные направления развития экономики и поставлены важные задачи по "дальнейшему ускорению производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на основе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов, освоению качественно новых видов продукции и технологий."¹ В связи с этим синтез и исследование адсорбентов с высокими сорбционными свойствами имеют важное значение для развития химической промышленности, являющейся одной из ведущих отраслей нашей экономики.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан No ПП-3983 от 25 октября 2018 года "О мерах по ускоренному развитию химической промышленности в Республике Узбекистан," No ПП-4265 от 3 апреля 2019 года "О дальнейшем реформировании химической

¹ Указ Президента Республики Узбекистан, от 28 января 2022 года УП-60 "О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы"

промышленности и повышении ее инвестиционной привлекательности," No ПП-4805 от 12 августа 2020 года "О мерах по повышению качества непрерывного образования и результативности науки в химическом и биологическом направлениях," а также в Указе No УП-60 от 28 января 2022 года "О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы" и других нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике. Данная научно-исследовательская работа выполнялась в соответствии с VII приоритетным направлением развития науки и технологий республики «Химия, химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В базы данных SCOPUS и WEB OF SCIENCE были включены 666 научных публикаций за последние 10 лет, найденных по ключевым словам "coordination polymer" и "metal organic framework." При анализе этих научных публикаций были получены следующие данные: наибольшее количество научных публикаций приходится на Китай - 221, Японию - 99, Индию - 74 и другие страны. Китагава С., Федин В.П., Чжан Дж.П., Чен Х.М. и другие ученые опубликовали наибольшее количество научных работ за последние 10 лет. Омар М. Яги и его команда впервые ввели в науку металлоорганические каркасы.

В Узбекистане под руководством ведущего ученого К.С. Ахмедова была создана научная школа, представители которой Э.А. Арипов, А.А. Агзамходжаев, С.С. Хамраев, С.З. Муминов, С.А. Абдурахимов, С.Н. Аминов, У.К. Ахмедов, Х.И. Акбаров, Г.Р. Нарметова, И.Д. Эшметов, Д.С. Салиханова, Ш.А. Кулдашева, Д.Ж. Джумаева и другие исследовали адсорбционные свойства различных молекул на образцах угольных, синтетических и природных минеральных сорбентов. Исследования по синтезу, строению и свойствам координационных соединений с сорбционными свойствами проводились академиками Н.А. Парпиевым и Б.Т. Ибрагимовым, профессорами А.Б. Ибрагимовым, Х.Т. Шариповым, Б.Б. Умаровым, А.А. Шабилоловым, Т.А. Азизовым, Х.Х. Тураевым, Ж.М. Ашуровым и Ш.А. Кадировой.

Из литературы нам стало известно, что количество соединений, опубликованных и хранимых в Международном Кембриджском Центре Кристаллографических Данных (CCDC), также значительно увеличивается. На момент публикации Кембриджского центра кристаллографических данных (CCDC) в 2017 году насчитывалось около 70 000 МОФ. Через два года, к августу 2019 года, эта цифра достигла 96 000, то есть ежемесячно синтезировалось около 1000 новых соединений. По состоянию на январь 2020 года эта информация составила 99 075 МОФ. По состоянию на апрель 2023 года объявлено о более чем 118 000 МОФ. Из этих данных видно, что изучение металлоорганических каркасов стремительно растет.

Анализ литературы показал, что в нашей стране металлоорганические соединения мало изучены. Данные в этой области встречаются крайне редко. При изучении металлоорганических каркасов было установлено, что соединения п-, м-, сульфаниловых кислот, тартрата калия и динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты ($\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б) с

катионами Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) мало изучены.

Связь диссертационного исследования с научными планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Исследования, проведенные в диссертационной работе, выполнены на основе Государственного фундаментального гранта No ФЗ-20200929348 "Защита растений от абиотических и биотических негативных воздействий структурой супрамолекулярных комплексов на основе фенольных кислот" Института общей и неорганической химии АН РУз на 2021-2025 годы и совместного узбекско-туркменского прикладного проекта No АЛ-7623031231 "Синтез углеродных нанотрубок на основе циклопентадиенил железо дикарбонил димера и изучение их физико-химических свойств" на 2024-2025 годы.

Целью исследования. Целью исследования является синтез металлоорганических каркасов с катионами Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) в качестве центральных атомов, используя п-, м-, сульфаниловые кислоты, тартрат калия и динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б), а также определение их состава, кристаллической структуры, физико-химических и сорбционных свойств.

Задачи исследований:

Синтез монокристаллов металлоорганических каркасов с катионами Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) и п-, м-, сульфаниловыми кислотами, тартратом калия и динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б); определение оптимальных условий и изучение свойств частиц в образовавшемся коллоидном растворе;

определение химического состава и пространственной структуры монокристаллов металлоорганических каркасов, полученных с помощью монокристалльного рентгеновского дифрактометра;

подтверждение новизны полученных монокристаллов металлоорганических каркасов через международную Кембриджскую базу данных;

определение природы функциональных групп и связей в составе металлоорганических каркасов с помощью спектроскопического анализа;

сравнительный анализ термической устойчивости металлоорганических каркасов в зависимости от их пространственных размеров;

расчет поверхности Хиршфельда и анализ размеров пористости полученных металлоорганических каркасов;

анализ результатов адсорбции низкотемпературного азота, бензола и водяного пара синтезированными одномерными (1D) и двумерными (2D) металл-органическими каркасами;

Объектом исследования п-, м-, сульфаниловые кислоты, тартрат калия и динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б), а также их металлические соли Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) и полученные металлоорганические каркасные соединения.

Предметом исследования Комплексы, образованные 3d, 2p металлами с изомерами сульфаниловой кислоты и трилоном Б, их кристаллическая структура, сорбционные и физико-химические свойства, координационный комплекс субстрат-лиганд.

Методы исследования. В подготовленной диссертационной работе использованы рентгеноструктурный анализ (РСА), дифференциальная сканирующая калориметрия (DSC), ИК-спектроскопия, адсорбция азота, бензола и водяного пара при низких температурах, измерение количества ионов в растворе и электропроводности, ультрафиолетовая спектрофотометрия, новые квантово-химические теоретические методы, а также современные компьютерные программы.

Научная новизна исследования заключается в следующем: Впервые в присутствии п-, м-сульфаниловых кислот, тартрата калия и динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (трилон Б) получены 6 их комплексных соединений с Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II). С помощью рентгеноструктурного анализа были определены их молекулярные и кристаллические структуры, а также состав. Три из этих соединений внесены в международную Кембриджскую базу данных кристаллографических структур;

Определены условия синтеза для каждого вещества при синтезе металлоорганических каркасов: установлено, что соединение $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ образуется при температуре 80°C за 72 часа с выходом 61%, $[\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ при температуре 50°C за 72 часа с выходом 65%, для соединения $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ - при температуре 40°C за 72 часа с выходом 61%, для соединения $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7, (\text{H}_2\text{O})_2]_n$ - при температуре 30°C за 7 дней с выходом 58%, для соединения $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$ - при температуре 90°C за 48 часов с выходом 55%, для соединения $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$ - при температуре 30°C за 7 дней с выходом 53%;

Изучено трехмерное распределение размеров частиц, концентрация и интенсивность преломления света коллоидного раствора, образующегося на стадии синтеза МОК. Согласно полученным данным, высокая концентрация наблюдалась для частиц в диапазоне 97-159 нм, при этом установлено, что размеры основных частиц составляют от 58 до 230 нм;

Обосновано образование металлоорганического каркаса с высокой площадью поверхности в результате использования поверхностно-активного вещества в процессе синтеза;

Установлено, что петля гистерезиса, образующаяся при адсорбции металлоорганического каркаса, относится к типу H3, и с помощью программы CrystalExplorer было обнаружено, что пористость имеет щелевидный характер, как у пластинчатых адсорбентов. Это также подтверждается соответствием структурных и адсорбционных данных друг другу;

Установлено, что удельная поверхность ($S_{\text{ВЕТ}}$) одно- и двумерного металлоорганического каркаса $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ равна $305,8 \text{ м}^2/\text{г}$, а адсорбция молекул воды составляет $22,904 \text{ ммоль}/\text{г}$. Среди проанализированных МОК катена-[натрий аква- (этилендиаминтетраацетат) -железо (III) дигидрат] обладает наибольшей удельной поверхностью, значение которой ($S_{\text{ВЕТ}}$) равно $1036,96 \text{ м}^2/\text{г}$, а адсорбционный объем (НК) составляет $3,55 \text{ см}^3/\text{г}$.;

Доказано, что новые синтезированные металлоорганические каркасы, такие как $[\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ и $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$, имеют ионную концентрацию 2,14 ppt и 1,971 ppt соответственно, а также электропроводность

4,29 mS и 3,94 mS.

Практические результаты исследования заключаются в следующем: Физико-химические и адсорбционные свойства синтезированных металлоорганических каркасов нового поколения создают возможность внедрения в практику высокоэффективных сорбентов и катализаторов в ряде областей;

- Благодаря большой величине внутренней поверхности полученных металлоорганических каркасов нового поколения на практике создана возможность длительного хранения и транспортировки большого количества различных газов и паров;

- Определены оптимальные условия синтеза комплексных соединений п-, м-, сульфаниловых кислот, тартрата калия и динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты ($\text{ЭДТА-H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б) с катионами металлов Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II);

- Для теоретического обоснования синтеза металлоорганических каркасов структурные данные $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})]2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ (пространственное строение и все кристаллографические параметры) размещены в Кембриджской базе данных кристаллографических структур;

- На основе результатов РСА, ИК-спектроскопии и современных квантово-химических расчетов определены физико-химические свойства синтезированных комплексных соединений, установлен биметаллический каркас с катионом металла Fe (III) в присутствии динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты;

Достоверность результатов исследований рентгеноструктурный анализ, элементный анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, ИК-спектроскопия, адсорбция азота, бензола и водяного пара при низких температурах, определение количества ионов в растворе и электропроводности, ультрафиолетовая спектрофотометрия и программные квантово-химические расчеты. Выводы сделаны на основе анализа экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в определении оптимальных условий синтеза и физико-химических, а также сорбционных свойств новых видов металлоорганических каркасов с высокими сорбционными свойствами с такими металлами, как Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) в присутствии п-, м-, сульфаниловых кислот, тартрата калия и динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты ($\text{ЭДТА-H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б). Все 6 предложенных в диссертационной работе соединений были выделены в виде монокристаллов, а также исследованы структура, состав, физико-химические и сорбционные свойства новых координационных полимерных соединений с помощью современных физических методов исследования.

Практическая значимость результатов исследования металлоорганических каркасов с высокими сорбционными свойствами заключается в получении и применении новых видов сорбентов. Кроме того, результаты используются в специальных курсах по физической и коллоидной химии для магистрантов

высших учебных заведений. Исследованные адсорбенты рекомендуются для очистки природного газа от соединений серы и осушки от влаги, а полученные данные рекомендуются в качестве основы для синтеза металлоорганических каркасов из местного сырья.

Практическая значимость результатов исследования также подтверждается тем, что структурные данные металлоорганических каркасов $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ va $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ размещены в Кембриджской базе данных кристаллографических структур.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследований по синтезу, кристаллической структуре и сорбционным свойствам металлоорганических каркасов, полученных с катионами металлов Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II) в присутствии п-, м-, сульфаниловых кислот, тартрата калия и динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты ($\text{ЭДТА-H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Трилон Б), обладающих высокими сорбционными свойствами:

Результаты рентгеноструктурного анализа металлоорганических каркасов $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})]2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ внесены в Кембриджскую базу кристаллографических данных (<https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> депозитные номера CCDC No2280080, No2336258, No2383711). В результате синтезированные соединения, включенные в данную базу данных, позволили другим исследователям использовать их для получения новых металлоорганических каркасов этого типа, предварительного определения возможных типов связей, а также поверхности и пористости, и описания их структуры;

Опубликована статья в журнале "Journal of Molecular Structure" (<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.136581>) с участием новосинтезированного одномерного металл-органического каркаса катена-[бис (μ -4-азаниумилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганец (II)], которая получила 4 цитирования (<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58592755300>);

Новые синтезированные металлоорганические каркасы, такие как $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$, для очистки от соединений, таких как углекислый газ и бензол, которые представляют проблему при переработке нефтепродуктов, а также для использования при сушке, включены в список перспективных разработок ООО "Фергана НПИЗ" АО "Узбекнефтегаз" для внедрения в практику в 2025-2026 годах. (Справка АО "Узбекнефтегаз" No 01-03-02/131 от 5 сентября 2024 года). В результате это позволило повысить степень очистки нефтепродуктов от содержащихся в них углекислого газа и бензольных соединений в процессе переработки, а также улучшить уровень сушки от водяных паров;

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были представлены и обсуждены на 17 научно-практических конференциях, из которых 2 зарубежные, 10 международных и 5 республиканских.

Опубликованность результатов исследования. Всего По теме диссертации опубликовано 23 научных работ, из них 5 научных статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора философии (PhD), в том числе 3 статьи в республиканских изданиях и 3 статьи в престижных журналах, индексируемых в базе данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во введении обоснована актуальность и значимость темы диссертации, определены цель и задачи исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована их достоверность, раскрыта научная и практическая значимость результатов исследования, сделаны выводы о перспективах внедрения в практику, а также приведены сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **"Особенности, строение, адсорбционные и физико-химические свойства металлоорганических каркасов (обзор литературы)"** из приведенного обзора литературы нам стало известно, что металлоорганические каркасы являются гибридными, то есть многофункциональными новыми соединениями, состоящими из органических лигандов и неорганических ионов металлов. Роль лигандов в образовании металлоорганического каркаса имеет большое значение. Выяснилось, что соединения, состоящие из органических лигандов, обладают более широкими возможностями по сравнению с соединениями, состоящими из неорганических лигандов. Реакционная среда играет важную роль в образовании металлоорганических каркасов. На морфологию соединения во время реакции влияют концентрация, тип растворителя, pH среды, температура и другие факторы. Среди связывающих лигандов выделяются изомеры сульфаниловой кислоты и трилон Б способностью образовывать полимеры. Методы синтеза можно разделить на классические, современные и инновационные. Металлоорганические каркасы, будучи соединениями с высокой удельной поверхностью и пористостью, проявляют ряд свойств, таких как хранение и разделение газов, поглощение тяжелых металлов и другие.

Во второй главе диссертации **"Объекты, процессы синтеза и методы исследования"** приведены характеристика оборудования и реактивов, использованных в рамках диссертационного исследования, подход к выбору методов синтеза соединений. Впервые представлен синтез 6 металлоорганических каркасов с нитратными, хлоридными, ацетатными солями Mn (II), Pb (II), Cu (II), Zn, Fe (III), а также с п-, м-, сульфаниловыми кислотами, калий тартратом и динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА- $H_2Na_2 \cdot 2H_2O$) (Трилон Б) (рисунок 1). Химические формулы новых синтезированных металлоорганических каркасов следующие: $[Mn_2(C_6H_7NO_3S)_2Cl_4O_4]$, $C_{10}H_{19}FeN_2NaO_{11}]_n$ va $[Pb(C_6H_6NO_3S)_2]_n$, $[ZnC_4H_7O_7(H_2O)_2]_n$, $[CoC_4H_5O_7(H_2O)_2]_n$, $[Cu_2C_9H_{21}N_2O_9]_n$. С целью изучения

свойств этих металлоорганических каркасов были использованы такие физико-химические методы исследования, как TG/DTA, ИК-Фурье и УФ-видимая спектроскопия, элементный анализ, измерение электропроводности, гравиметрия, а также адсорбция азота при низких температурах. Кроме того, были проведены анализы с использованием порошковой и монокристаллической рентгеновской дифрактометрии. С помощью вышеуказанных методов и анализа результатов, полученных с помощью монокристаллической рентгеновской дифрактометрии, было установлено, что вокруг центрального атома образуются тетраэдрические, октаэдрические и тетрагонально-пирамидальные геометрии. На основе тщательного анализа полученных результатов были сделаны необходимые выводы.

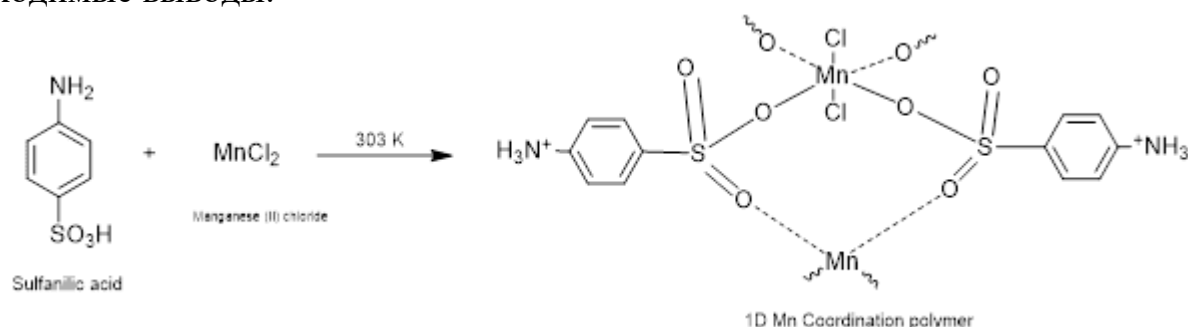


Рис. 1. Реакция образования катена-[бис (μ-4-азаниуилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганца (II)].

В третьей главе диссертации **"Молекулярное и кристаллическое строение, свойства металлоорганических каркасов"** были изучены многочисленные физико-химические свойства соединений с помощью ряда аналитических методов, таких как монокристаллическая рентгеновская дифракция, ИК- и УФ-спектроскопия, термический анализ, порошковая рентгеновская дифракция, а также измерение электропроводности.

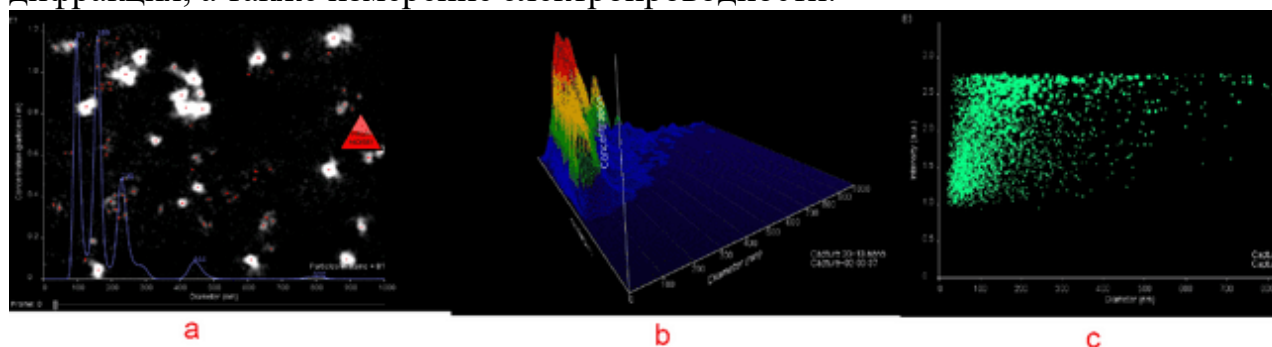


Рис. 2. Распределение размеров частиц в коллоидном растворе МОК: (а) концентрация, (б) трехмерное распределение, (в) интенсивность

Распределение размеров частиц коллоидного раствора, образующегося на стадии синтеза МОК, в трехмерном состоянии показано на рис. 2б. Размерное распределение синтезированных частиц охватывало широкий диапазон. Кривая распределения демонстрировала четкие пики с резким подъемом и спадом (рис. 2а). Наибольшая концентрация наблюдалась для частиц в диапазоне 97-159 нм, при этом размеры основных частиц варьировались от 58 до 230 нм.

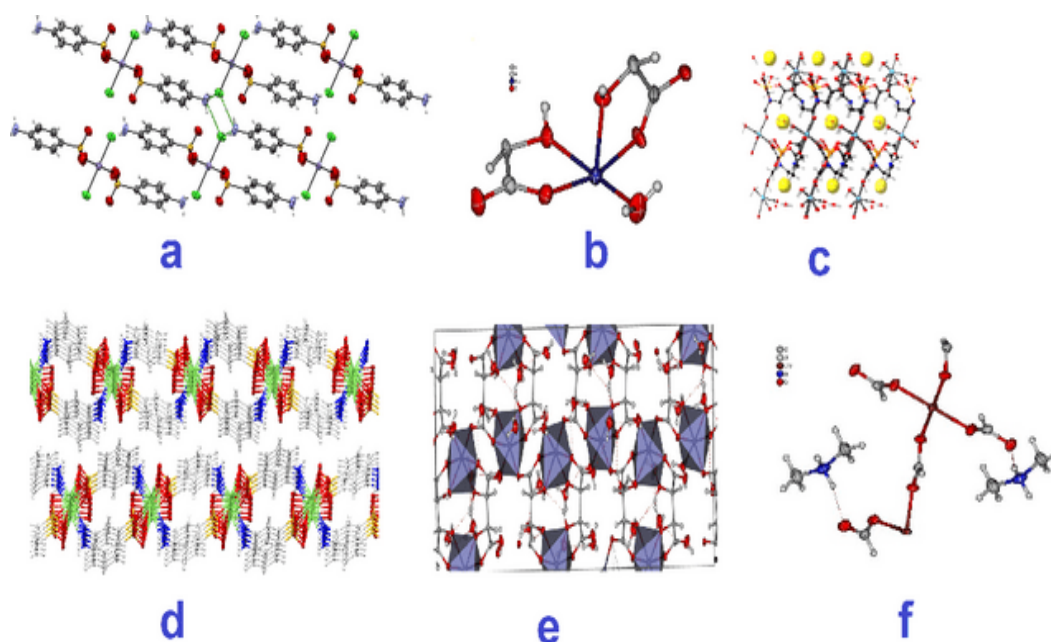


Рис. 3. Молекулярная структура синтезированных комплексных соединений. а) $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, б) $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$, в) $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, г) $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$, д) $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, е) $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7,(\text{H}_2\text{O})_2]_n$.

На основе результатов монокристаллической рентгеновской дифракции 6 новых синтезированных МОК приведены их химический состав и структура, полученные с помощью специальных компьютерных программ "Mercurе" и "OLEX²." Исследованы физико-химические свойства одномерных металлоорганических каркасов $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$, $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$ и двумерных металлоорганических каркасов $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7,(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$. Например, асимметричная единица МОК катена-[бис (μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганца (II)] связана с MnCl_2 и одной сульфаниловой кислотой, образуя одномерную цепь в моноклинной кристаллической системе. Каждый центр марганца октаэдрически координирован двумя аксиальными хлоридами и четырьмя атомами кислорода (четырьмя единицами $\text{C}_6\text{H}_7\text{NSO}_3$) в экваториальной плоскости (рис. 3). Полимерная цепь образована за счет мостиковых SO_3 -групп. Углы связи в MnCl_2O_4 находятся в диапазоне 80,16 (10) -95,31 (9) °, причем наименьшие и наибольшие значения соответствуют углам O1-Mn1-O1 $[3/2-x, y, 1-z]$ и O3 $[x, 1+y, z]$ - Mn1-O3 $[3/2-x, y, 1-z]$ для $\text{SO}_2\text{O-Mn-OSO}_2$. Эти мостики использовались для создания одномерной замещенной цепи с расстоянием между атомами $\text{Mn} \dots \text{Mn}$ 5,595 Å.

Катена-[натрия аква- (этилендиаминтетраацетат) -железа (III) дигидрат] характеризуется нарушенной октаэдрической координацией железа (III) (рис. 2). В координации атома железа участвуют два атома азота и три атома кислорода ЭДТА, а также одна молекула воды, которая образует сферическую координацию. Одна из групп $-\text{COO}-$ в лиганде связана с железом, а другая - с ионом натрия. Натрий связан октаэдрической координацией с пятью молекулами ЭДТА и одной молекулой воды, образуя полимерную структуру. Расстояния и углы вокруг Fe следующие: для связей Fe-O : $\text{Fe1-O3} = 1,977 (2)$ Å, $\text{Fe1-O5} = 2,122$

(2) Å, Fe1-O6 = 1,969 (2) Å и Fe1-O7 = 2,099 (2) Å; для связей Fe-N: Fe1-N1 = 2,319 (2) Å и Fe1-N2 = 2,318 (2) Å. В заключение, результаты структурного анализа каркасов служат важной информацией для анализа остальных физико-химических свойств МОК. Для Fe-N связей: Fe1-N1 = 2.319 (2) Å и Fe1-N2 = 2.318 (2) Å. Вместо заключения, результаты структурного анализа каркасов служат важной информацией для анализа остальных физико-химических свойств МОК.

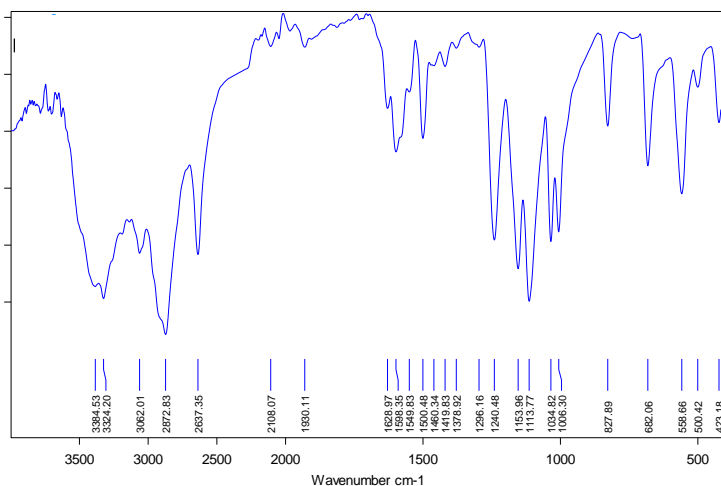


Рис. 4. ИК-спектр катена-[бис (μ-4-азаниуимилбензол-1-сульфонато) - дихлоро-ди-марганца (II)].

интенсивностью. Его деформационные колебания происходили при 1628,97 см⁻¹ (асимметричные) и 1598,35 см⁻¹ (симметричные), в средней области поглощения. Также наблюдались внеплоскостные колебания группы – NH₃⁺ с низкой интенсивностью в диапазоне 827,89 см⁻¹ (рис. 4).

При 3062,01 см⁻¹ наблюдались колебания C-H связей молекулы в ароматическом кольце, что проявилось в инфраструктуре при 1500,48 см⁻¹ с небольшим поглощением. Валентные колебания S-O связей сульфогруппы в соединении проявились при 1240,48 см⁻¹, а симметричные валентные колебания - при 1153,96 см⁻¹. Деформационные колебания этой связи наблюдались с высокой интенсивностью в диапазоне 1113,77 см⁻¹. Цель анализа УФ-спектроскопии в МОК заключается в изучении формирования каркаса за счет электронных переходов в структуре связей. Строение данного 2D координационного полимера железа анализировали с помощью УФ-спектрофотометрического прибора в диапазоне длин волн 200-1100 нм. Под действием электромагнитных волн (УФ) была определена максимальная длина поглощения (λ_{max}) 478 нм (20932 см⁻¹), что указывает на переходы ионов железа 3⁺ в 3d стадиях (d→d). Эти переходы доказывают образование координационной связи между железом и трилоном В. Это наблюдение означает, что координационные соединения лигандов связаны с металлическим центром (рис. 5). УФ-спектроскопия показала, что под действием электромагнитных волн при λ_{max} = 222 нм (45045 см⁻¹) наблюдаются переходы несвязанных электронных

Целью получения инфракрасного спектра координационных соединений является определение природы и типа связей и функциональных групп в составе каркаса. В катена-[бис (μ-4-азаниуимилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганца (II)] валентные колебания группы –NH₃⁺ наблюдались при 3384,53 см⁻¹ и 3324,2 см⁻¹, в несколько расширенной области и с высокой

пар атомов кислорода в трилоне Б, $n \rightarrow \sigma$. Кроме того, при 260 нм обнаружены $n \rightarrow \pi$ переходы под действием электромагнитных волн, что соответствует

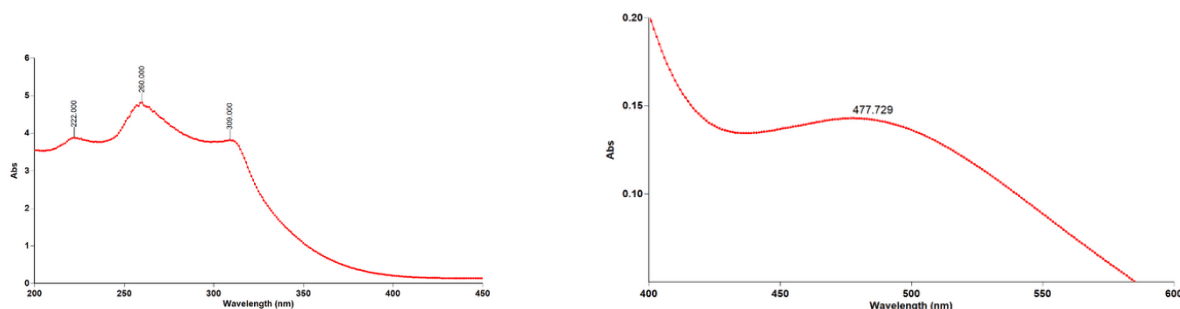


Рис. 5. УФ-видимые спектры для катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраацетат)-железо (III) дигидрата]. (а) область d-d перехода для иона железа.

волновому числу 38462 см^{-1} . Также под действием средневолнового ультрафиолетового (УФБ) излучения были обнаружены $n \rightarrow \sigma$ переходы атомов кислорода в молекулах воды в соединении при $\lambda_{\text{max}} = 309 \text{ нм}$ (33557 см^{-1}).

С целью дополнения результатов монокристаллического рентгеновского дифрактометра для важных характеристик изученных каркасов были приведены результаты порошкового рентгеновского дифрактометра. Для определения кристаллографической структуры и подтверждения фазовой чистоты катена-[бис (μ -3-аминобензолсульфонат) свинца (II)] был проведен анализ методом порошковой рентгеновской дифрактометрии (ПХРД).

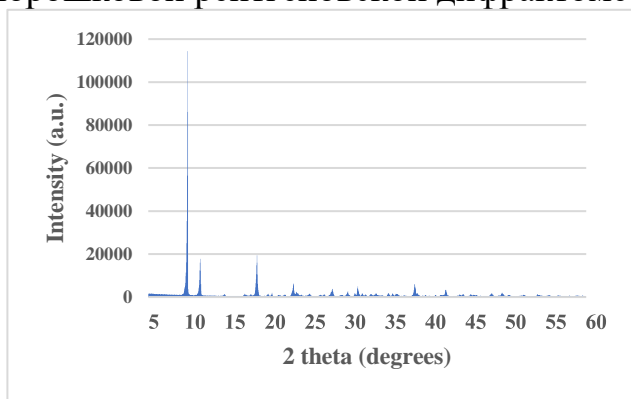


Рис. 6. РФПД-узоры катена-[бис (μ -3-аминобензолсульфонато) серы (II)].

На дифрактограмме ПХРД наблюдалось несколько четких и ярких пиков, что свидетельствует о кристаллической природе образца. Интенсивные дифракционные пики были зарегистрированы при значениях 2θ $10,4^\circ$, 12° , $19,05^\circ$ и $23,6^\circ$. Параметры решетки были уточнены методом наименьших квадратов, в результате чего были получены значения $a=16,4 \text{ \AA}$, $b=5,3 \text{ \AA}$ и $c=17 \text{ \AA}$.

Соответствие состояний пиков и интенсивностей друг другу указывает на хорошо упорядоченную кристаллическую структуру. Отсутствие дополнительных пиков указывает на отсутствие заметных примесей или вторичных фаз в синтезированном образце (рис. 6).

В данной главе изучены дериватограммы (TG и DTA) анализов соединений. По результатам дифференциально-термического анализа температура деградации металлоорганических каркасов в основном наблюдалась выше $300 \text{ }^\circ\text{C}$, экзотермический пик двухпространственного катена-[натрия аква-(этилендиаминтетраацетат)-дигидрат железа (III)] металлоорганического каркаса составляет $308 \text{ }^\circ\text{C}$, а экзотермический пик однопространственного катена-

[бис (μ-4-азаниумилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганца (II)] 503,63 °С (рис. 7). Анализ TG-DТА в катена-[бис (μ-3-аминобензолсульфонат) свинца (II)] показал, что в интервале температур 20-800°С в двух отдельных зонах произошла значительная потеря массы, что привело к разрушению металлоорганического

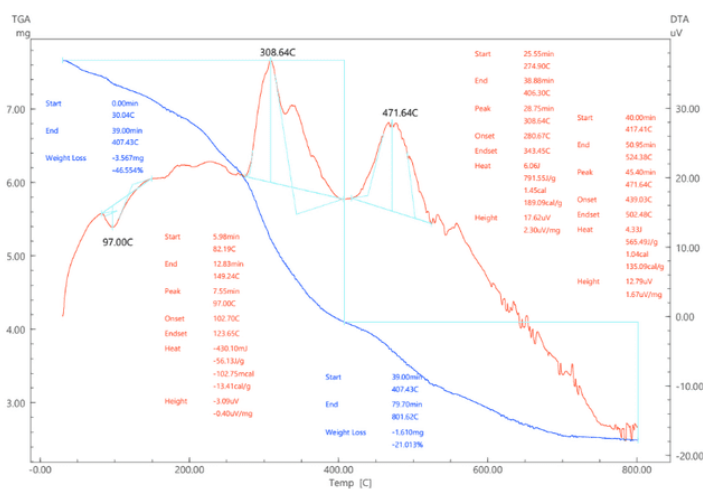


Рис. 7. Термический анализ катена-[натрия аква-(этилендиаминтетраацетат) -железа (III) дигидрата].

каркаса с образованием в качестве конечного продукта сульфида свинца (II) (табл. Изучение электропроводности дает информацию о процессе между полимеризованным металлом и раствором. Это наблюдение привело к повышению электропроводности центрального металла координационного полимера в результате его взаимодействия с молекулами воды в растворе и образования отдельных ионных комплексов с повышением температуры. С увеличением пространственных размеров металлоорганических каркасов

наблюдалось увеличение их электропроводности.

Таблица 1. Результаты термического анализа МОК

Название Металло-Органической Каркасной Структуры	Пики (см ⁻¹)	Описани е	Типы связей	Тип колебаний (Валентные/Деформац ионные)
Katena-[bis(μ-4-azaniumilbenzol-1-sulfonato)-dixloro-di-marganes(II)]	87.1	12.9	140.39°C, -235.27 J/g	503.63°C, +458.82 J/g
Katena-[bis(formato)mis(II) dimethylamine]n	73.2	26.8	193.81°C, -2.72 mkV	503.63°C, -1.78 mkV
Katena-[natriy akva-(etilendiamintetraatsetat)-temir(III) digidrati]	67.567	32.433	97°C, 56.13 J/g	471.64°C, +791.55 J/g
Katena-(bis(μ-3-aminobenzolsulfonat) qo'rg'oshin(II))	49.615	50.385	175.59°C, -2.54 mkV	444.89°C, -4.4 mkV
Katena-[bis(1,4-tartarato) kobalt(II) digidrat]n	67.3	32.7	194.16°C, -1.10 mkV	564.11°C, -1.78 mkV
Katena-[bis(1,4-tartarato) rux(II) digidrat]n	62.06	37.94	232.15°C, -2.72 mkV	465.27°C, -1.78 mkV

В четвертой главе диссертации "Сорбционные свойства металлоорганических каркасов и анализ поверхности Хиршфельда" из структурных параметров адсорбции однофазных $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$,

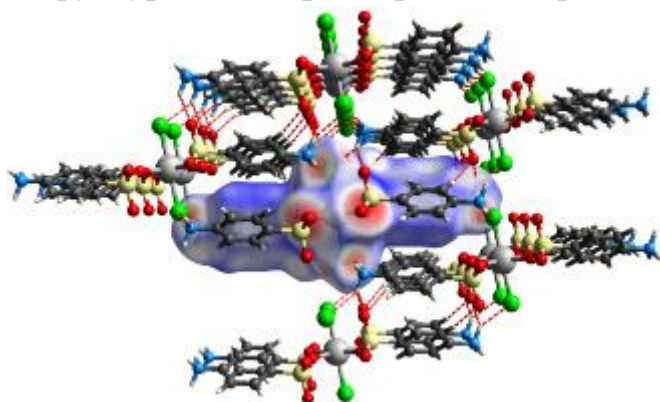


Рис. 8. Изображение поверхности Хиршфельда, рассчитанное по днорм для молекулярного фрагмента

каркасах определены активные центры, образованные силами Ван-дер-Ваальса на

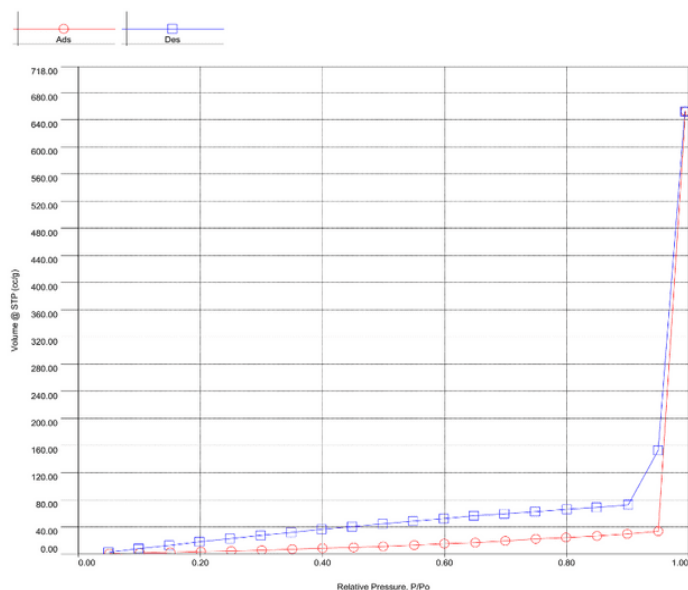


Рис. 9. Изотерма адсорбции азота катена-[натрий аква- (этилендиаминтетраацетат) - железо (III) дигидрата].

$[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ взаимодействия $\text{O}\cdots\text{H}/\text{H}\cdots\text{O}$ и $\text{H}\cdots\text{H}$ составляют 54,8 и 27,7% от общего количества; Доказано, что основной вклад в формирование поверхности Хиршфельда металлоорганического каркаса $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ составляет взаимодействие $\text{O}\cdots\text{H}/\text{H}\cdots\text{O}$ 32,1%, взаимодействие $\text{H}\cdots\text{H}$ 24,8%. $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$, $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ и $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ образуют ионно-молекулярные комплексы в результате адсорбции молекул воды с несколькими активными центрами пор металлоорганического каркаса, при этом общее количество адсорбированного вещества составляет соответственно 22,9; 27,94 и 10,1 ммоль/г (рис. 10).

двумерных металлоорганических каркасов $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7,(\text{H}_2\text{O})_2]_n$, $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ С помощью анализа поверхности Хиршфельда в программе CrystalExplorer и с помощью программы Crystal void были проанализированы свойства пустот в металлоорганических каркасных кристаллах, а также изучены сорбционные свойства. На основе результатов анализа поверхностей Хиршфельда в металлоорганических

каркасах определены активные центры, образованные силами Ван-дер-Ваальса на близлежащих поверхностях в порах (рис. 8,11). Например:

взаимодействия $\text{H}\cdots\text{O}/\text{O}\cdots\text{H}$ и $\text{N1}-\text{H1C}\cdots\text{Cl1}$ в $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$ составляют 28,3% и 29,6% соответственно;

в $[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ взаимодействия $\text{O}\cdots\text{H}/\text{H}\cdots\text{O}$ и $\text{H}\cdots\text{H}$ составляют 54,8% и 27,7% от общего количества; доказано, что основной вклад в формирование поверхности Хиршфельда

металлоорганического каркаса $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ вносят взаимодействия $\text{O}\cdots\text{H}/\text{H}\cdots\text{O}$ (32,1%) и $\text{H}\cdots\text{H}$ (24,8%).

В $[\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ взаимодействия $\text{O}\cdots\text{H}/\text{H}\cdots\text{O}$ и $\text{H}\cdots\text{H}$ составляют 54,8 и 27,7% от общего количества; Доказано, что основной вклад в формирование поверхности Хиршфельда металлоорганического каркаса $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ составляет взаимодействие $\text{O}\cdots\text{H}/\text{H}\cdots\text{O}$ 32,1%, взаимодействие $\text{H}\cdots\text{H}$ 24,8%. $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$, $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]_n$ и $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ образуют ионно-молекулярные комплексы в результате адсорбции молекул воды с несколькими активными центрами пор металлоорганического каркаса, при этом общее количество адсорбированного вещества составляет соответственно 22,9; 27,94 и 10,1 ммоль/г (рис. 10).

При взаимодействии с молекулами бензола образуются Т- и π-π-комплексы,

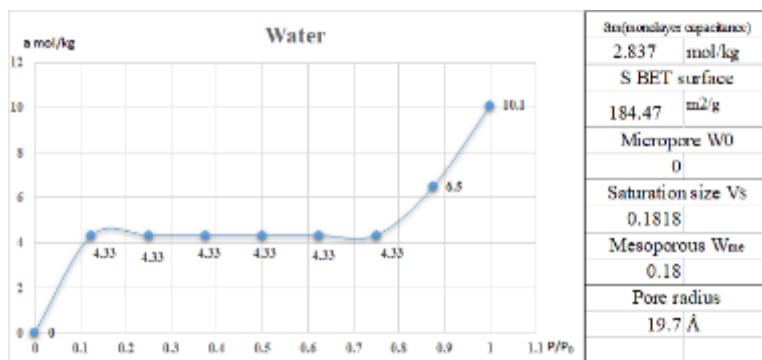


Рис. 10. Изотерма адсорбции паров воды катена-[бис (μ3-3-аминобензолсульфонат) свинца (II)]

причем количество адсорбированного вещества составляет 0,849 ммоль/г и 1,38 ммоль/г, а в металлоорганическом каркасе [Pb(C₆H₆NO₃S)₂]_n молекула бензола практически не адсорбируется (рис. 12). Результаты, полученные при изучении адсорбции

азота при низких температурах для всех исследованных металлоорганических

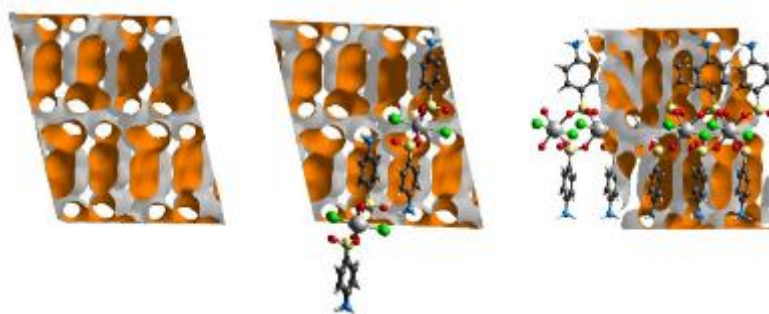


Рис. 11. Представление пустот в кристаллической структуре катена-[бис (μ4-азаниумилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганца (II)].

каркасов, показывают, что изотерма относится к типу V по классификации IUPAC, а образующая петля гистерезиса имеет тип H3. Используя файл кристаллографических данных, полученный с помощью монокристаллического рентгеновского дифрактометра, с

использованием программы CrystalExplorer были проанализированы пустоты в кристалле. Было установлено, что структурные и адсорбционные данные



Рис. 12. Изотерма адсорбции паров бензола катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраацетат) -железо (III) дигидрат]

согласуются между собой, поскольку форма пористости представляет собой щелевидную пористость, характерную для пластинчатых адсорбентов.

По результатам низкотемпературной адсорбции азота катена-[натрий аква-

(этилендиаминтетраацетат) -железо (III) дигидрат] имеет наибольшее значение среди проанализированных МОК. Установлено, что его удельная площадь поверхности (S_{BET}) составляет 1036,96 м²/г, а адсорбционный объем (НК) - 3,55

см³/г (рис. 9). Как правило, в координационных соединениях центральный атом не оказывает существенного влияния на формирование поверхности Хиршфельда. Однако было обнаружено, что свинец, являющийся центральным атомом в этом соединении, способствует образованию поверхности как во внутренней, так и во внешней части. Это указывает на то, что свинец играет важную роль в кристаллической структуре полимерного координационного соединения. При этом было отмечено, что р-элементы вносят больший вклад в поверхность Хиршфельда, чем d-элементы. Результаты данного анализа были сопоставлены с результатами DFT-анализа, рассчитанного с использованием данных, полученных при адсорбции азота для определения формы и размера пор, а также с данными, полученными из петли гистерезиса, образовавшейся на изотерме адсорбции азота (рис. 11). В результате можно видеть, что форма пористости характеризуется щелевидной пористостью, образуемой пластинчатыми адсорбентами типа H3, что согласуется с обоими вышеприведенными источниками данных.

Результаты проведенных исследований были апробированы на практике в ООО "Фергана НПЗ" и получены положительные результаты. Полученные данные послужат научной основой для получения металлоорганических каркасов из местного сырья в будущем, которые будут использоваться в качестве высокоэффективных катализаторов в различных областях, включая сушку, очистку нефти и нефтепродуктов.

Таблица 3. Текстуры свойства МОК на основе адсорбции азота

Методы расчета текстуры на основе адсорбции азота	1D Mn	1D Cu	2D Fe	2D Pb	2D Zn	2D Co
S _{BET} , м ² /г	305,8	352,31	1036,96	383,108	533,23	484,51
t-Plot Micropore Area, м ² /г	45,4	47,69	161,56	50,4	164,12	112,45
t-Plot external surface area, м ² /г	114,3	107,16	484,15	206,4	206,11	246,12
Cumulative surface area of mesopores (BJH), м ² /г	208,6	222,69	832,20	220,8	346,84	309,41
t-Plot micropore volume, см ³ /г	0,25	0,227	0,40	0,28	0,85	0,46
Mesopores cumulative volume, см ³ /г	0,78	0,973	1,075	0,147	1,08	0,98
Maximum pore volume (HK), см ³ /г	1,56	0,056	3,55	0,96	1,83	1,45
Average pore diameter (4V/A by BET), Å	108,18	110,52	209,64	106,62	108,18	120,3
Median pore width, Å	30,2	16,37	70,97	20,4	28,6	26,4
Average pore hydraulic radius (V/A by MP method), Å	20,12	90,39	10,44	16,12	10,56	11,23

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В процессе синтеза за счет применения поверхностно-активных веществ наблюдалось увеличение пространственного размера при образовании 1D, 2D, 3D металлоорганических каркасов.

2. Установлено, что размер частиц коллоидного раствора, образующегося на стадии синтеза МОК, составляет от 58 до 230 нм, при этом наибольшая концентрация частиц находится в диапазоне 97-159 нм.

3. Установлено, что при синтезе металлоорганических каркасов важное значение имеет температура, а именно с увеличением количества пространственных размеров температура уменьшается. Определено, что

оптимальная температура для одномерного металлоорганического каркаса катена-[бис (μ -4-азаниумилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганец (II)] составляет 80°C , для двумерного катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраацетат) -железо (III) дигидрат] n - 50°C , а для двумерного катена- (бис (μ -3-аминобензолсульфонат) свинец (II)) - 40°C .

4. В координационных соединениях центральный атом не оказывает существенного влияния на формирование поверхности Хиршфельда. Однако было замечено, что свинец, являющийся центральным атомом в этом соединении, также способствует образованию поверхности во внутренней и внешней части. Это свидетельствует о важной роли свинца в кристаллической структуре полимерного координационного соединения. Таким образом, было отмечено, что атомы р-металлов вносят больший вклад в поверхность Хиршфельда, чем элементы d-металлов.

5. По результатам дифференциально-термического анализа температура деградации металлоорганических каркасов в основном наблюдалась выше 300°C , при этом экзотермический пик двумерного катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраацетат) -железо (III) дигидрат] металлоорганического каркаса составляет 308°C , а одномерного катена-[бис (μ -4-азаниумилбензол-1-сульфонато) -дихлоро-ди-марганец (II)] металлоорганического каркаса - $503,63^{\circ}\text{C}$, что указывает на уменьшение значения ДТА с увеличением размерности пространственной структуры.

6. С увеличением количества пространственных размеров в металлоорганических каркасах наблюдалось относительно высокое значение площади поверхности и пористости. При этом для двумерного катена-[натрий аква-(этилендиаминтетраацетат) -железо (III) дигидрат] n металлоорганического каркаса $S_{\text{ВЕТ}}=1036,96 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ и $D_p\text{-micro}=1,4 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$, а для одномерного катена-[бис (формато) -медь (II) диметиламин] n металлоорганического каркаса $S_{\text{ВЕТ}}=247,7 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ и $D_p\text{-micro}=0,53 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$.

7. По результатам анализа с помощью программ DFT и CrystalExplorer установлено, что мезопоры встречаются относительно чаще в двумерных металлоорганических каркасах.

8. В результате адсорбции молекул воды с несколькими активными центрами пор металлоорганического каркаса $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$, $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]n$ и $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]n$ образуются ионно-молекулярные комплексы, при этом общее количество адсорбированного вещества составляет 22,9; 27,94 и 10,1 ммоль/г соответственно. Этот показатель в металлоорганических каркасах $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]$, $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{FeN}_2\text{NaO}_{11}]n$ при образовании Т- и π - π комплексов с молекулами бензола составляет 0,849 ммоль/г и 1,38 ммоль/г соответственно.

9. 9. Результаты проведенных исследований прошли апробацию на практике в ООО "Фергана НПИЗ" и были получены положительные результаты. Полученные результаты исследований послужат научной основой для получения металлоорганических каркасов из местного сырья, которые могут быть использованы в различных областях, в том числе при сушке и очистке нефти и нефтепродуктов в будущем.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF GENERAL AND
INORGANIC CHEMISTRY**

INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY

ABDULLAEV AHRORJON

**SYNTHESIS AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF METAL-
ORGANIC FRAMEWORKS WITH VARIOUS SPATIAL DIMENSIONS
POSSESSING HIGH SORPTION CHARACTERISTICS**

02.00.11 – Colloid and membrane chemistry

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

Tashkent – 2025

The dissertation subject of Doctor of philosophy (PhD) in Chemical Sciences is registered by the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan with registration numbers B2024.2.PhD/K793

Dissertation work completed at the Institute of general and inorganic chemistry.

Abstract of the thesis in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) posted on the web site of «ZiyoNet» to the address www.ziyo.net.uz.

Academic Supervisor: **Yakubov Yoldosh Yusupboyevich**
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Official opponents: **Ergashev Oybek Karimovich**
doctor of chemical sciences, professor

Ruzimurodov Olim Narbekovich
doctor of chemical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent Institute of Chemical Technology**

The defense will take place «18» March 2025 at 10⁰⁰ o'clock at the meeting of the scientific Council No.DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 at General and Inorganic Chemistry Institute (Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek district, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel.: (+99 871) 262-56-60, fax: (+99 871) 262-79-90, e-mail: ionx@academy.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the General and Inorganic Chemistry, (is registered under № 18). Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel./fax: (+99871) 262-56-60, (+99871) 262-79-90).

Abstract of dissertation sent out on «5» March 2025 y.
(mailing report № from «5» March 2025 y.)



B.S. Zakirov

Chairman of the scientific Council awarding scientific degrees,
doctor of chemical sciences, professor

D.S. Salikhanova

Scientific secretary of the scientific Council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

I.D. Eshmetov

Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific Council on the award of a scientific degree, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy PhD dissertation)

The aim of the research is to synthesize metal-organic frameworks containing metal as the central atom with p-, m-sulfanilic acids, potassium tartrate, and the disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Trilon B) with cations of Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), and Co (II), as well as to determine their composition, crystal structure, physicochemical and sorption properties.

The object of the study p-, m-sulfanilic acids, potassium tartrate, and the disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Trilon B), their metal salts of Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), Co (II), and the resulting metal-organic framework compounds.

The scientific novelty of the research is as follows:

Six complex compounds with Cu (II), Mn (II), Pb (II), Zn, Fe (III), and Co (II) were obtained for the first time in the presence of p-, m- sulfanilic acids, potassium tartrate, and the disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA- $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Trilon B). Their molecular and crystal structures and composition were determined using X-ray diffraction. Three of these compounds have been included in the Cambridge Crystallographic Structure Database;

- the synthesis conditions for each substance during the synthesis of metal-organic frameworks were determined: compound $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ at 80°C for 72 hours with 61%, compound $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ at 50°C for 72 hours with 65%, compound $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$ at 40°C for 72 hours with 61%, compound $[\text{CoC}_4\text{H}_5\text{O}_7, (\text{H}_2\text{O})_2]_n$ at 30°C for 7 days with 58%, compound $[\text{Cu}_2\text{C}_9\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_9]_n$ at 90°C for 48 hours with 55%, and compound $[\text{ZnC}_4\text{H}_7\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})_2]_n$ at 30°C for 7 days with 53% yield.

- the particle size distribution, concentration, and refractive index intensity of the colloidal solution formed during the synthesis stage of MOFs were studied in 3D. Accordingly, a high concentration was observed for particles in the range of 97-159 nm, with the main particle sizes ranging from 58 to 230 nm. Accordingly, a high concentration was observed for particles in the range of 97-159 nm, with the main particle sizes ranging from 58 to 230 nm.

- the formation of a metal-organic framework with a high surface area as a result of using a surfactant in the synthesis process has been substantiated.

- it was found that the hysteresis loop formed during the adsorption of the metal-organic framework is of the H3 type, and with the help of the CrystalExplorer program, it was observed that the porous form has a crack-like porosity, similar to that of adsorbents with a plate-like shape. This was also confirmed by the correspondence between structural and adsorption data.

- the surface area of the one- and two-dimensional metal-organic framework $[\text{Mn}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S})_2\text{Cl}_4\text{O}_4]_n$ (S_{BET}) is $305.8 \text{ m}^2/\text{g}$, and its water molecule adsorption is 22.904 mmol/g . Among the analyzed MOFs, catena-[sodium aqua-(ethylenediaminetetraacetate)-iron (III) dihydrate] has the highest specific surface area value, with its S_{BET} value being $1036.96 \text{ m}^2/\text{g}$ and its adsorption volume (HK) being $3.55 \text{ cm}^3/\text{g}$.

- it has been proven that the ion concentrations of the newly synthesized metal-organic frameworks, such as $\text{Na}[\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $[\text{Pb}(\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_3\text{S})_2]_n$,

are 2.14 ppt and 1.971 ppt, respectively, and their electrical conductivities are 4.29 mS and 3.94 mS, respectively.

The size and structure of the dissertation. The composition of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used literature and appendices. The volume of the dissertation is 119 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

LIST OF PUBLICATIONS

I бўлим (I часть; part I)

1. Хабибжонович А.А., Юсупбоевич Ю.Ю., Хамиджанович Р.А., Садуллаевич Н.А., Бахтиёрович И.А., Ахтар М.Н., AlDamen M.A. 1D Mn координация полимери сульфанилик кислотасидан олинган: Синтез, структура, адсорбцион хоссалари ва Hirshfeld сирт таҳлили, J. Mol. Struct. 1295 (2024) 136581. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.136581>. 2023 №3. SCOPUS. CiteScore – 7,1. 2024. SJR-0,57.
2. Хабибжонович А.А., Юсупбоевич Ю.Ю., Замирович А.Б., Хамиджанович Р.А., Садуллаевич Н.А., Бахтиёрович И.А., Ахтар М.Н., AlDamen M.A., Gao J. Na-Fe(III) ва EDTA асосидаги координация полимери: синтез, характеристикация, электр ўтказувчанлик, адсорбцион хоссалари ва Hirshfeld сирт таҳлили, Adsorption 30 (2024) 1407–1418. <https://doi.org/10.1007/s10450-024-00504-4>. SCOPUS. CiteScore – 4,4. 2024. SJR-0,72.
3. Хабибжонович А.А., Юсупбоевич Й.Й., Замирович А.Б., Хамиджанович Р.А., Садуллаевич Н.А., Беҳзоджон М.Д., Кодамбоевич К.П., Абдуллаев И.И., Балакришнан С., Тулаганович И.Б., Менгнорович А.Ж., Гао Ж., Бахтиёрович И.А., Two dimensional coordination polymer of pb(II) complex with m-sulfanilic acid: synthesis, characterization, electrical conductivity, adsorption properties and Hirshfeld surface analysis, Adsorption 31 (2025) 32. <https://doi.org/10.1007/s10450-024-00587-z>.
4. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Маматқодиров Б.Д., Фаниева Г.А. Никель (II) ацетат тузи ($Ni(CH_3COO)_2$) ва р-оксibenзой кислотаси ($C_6H_4(COOH)(OH)$) асосидаги металл-органик каркас. Ўзбекистон Республикаси фанлар академияси Ёш олимлар кенгаши ёш олимлар ахборотномаси. Тошкент 2022 №2 (4) 2022 илмий журнал. 73-74 бет. (02.00.00; ОАК Раёсатининг 2023 йил 30 ноябрдаги 346-сон қарори).
5. Хабибжонович А.А., Юсупбоевич Ю.Ю., Ғайратали ўғли М.Х., Урал ўғли Р.У., Бахтиёр ўғли Х.Қ. Na-Fe(III) ва EDTA асосидаги координация полимери: адсорбцион хоссалари ва Hirshfeld сирт таҳлили, Қўқон ДПИ. Илмий хабарлар (УЎК 5/9(08)КБК) 103-111 бет, 2024 3-сон. (02.00.00; ОАК Раёсатининг 2021 йил 31 мартдаги 295/6-сон қарори).
6. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Номозов Ш.Ю., Хошимов А.А., 1D Mn координация полимери сульфанилик кислотасидан олинган: адсорбцион хоссалари ва Hirshfeld сирт таҳлили, Илмий-техник журнал (STJ ФарПИ, ITJ ФарПИ, NTJ ФерПИ, 2024, Т.28. махсус нашр №18). (02.00.00; ОАК Раёсатининг 2021 йил 4 июндаги 300/5-сон қарори).

II бўлим (II часть; part II)

7. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Жумабоева З.З. Металл-органик каркасларнинг аҳамияти ва қўлланилиш соҳалари. Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. Умумий ва ноорганик кимё институти АН РУз. Тошкент, 12-14 май 2022 йил. 291-293 бет.

8. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю. Mn^{2+} иони билан сульфанил кислотаси ҳосил қилган координацион полимер бирикманинг синтези ва тузилиши. Ўзбекистон Республикаси олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги, Бухоро давлат университети “Координацион бирикмалар кимёсининг ҳозирги замон муаммолари” мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. Бухоро, 2022 йил 22-23 декабрь. 74-бет.
9. Маматқодиров Б.Д., Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б. Янги координацион полимерларнинг адсорбцион хоссаларига эга синтези. Бухоро давлат университети халқаро анжуман материаллари тўплами, 2022 йил 22-23 декабрь. 75-76 бет.
10. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б. Сульфанил кислотаси ва $MnCl_2$ таъсирида ҳосил бўлган 1D координацион полимернинг инфрақизил спектроскопик таҳлили. Республика илмий-амалий анжумани материаллари, 2023 йил 28-29 апрель. Термиз. 374-375 бет.
11. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б. $MnCl_2$ ва сульфанил кислотасидан синтез қилинган 1D координацион полимернинг синтези ва ТГ ҳамда ДТА таҳлили. Ўзбекистон Миллий университети, 2023 йил 22-23 сентябрь. Тошкент. 82-83 бет.
12. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б. Юқори сорбцион хоссаларга эга 1D, 2D ва 3D координацион полимерларнинг умумий таҳлили. Анжуман материаллари тўплами, 2023 йил 22-23 сентябрь. Тошкент. 126-127 бет.
13. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Жўраев А.Ш., Шарипов И.И., Сафаров А.Р. Сульфанил кислотасидан олинган 1D Mn координацион полимерининг Hirschfeld сирт таҳлили. Тошкент, 2023 йил 16-17 ноябрь. 446 бет.
14. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Мухаммадалиев Х.Г., Қодамбоев П.Қ., Самандаров Э.Ш. Сульфанил кислотасидан олинган 1D Mn координацион полимерининг кристалл структураси. Тошкент, 2023 йил 16-17 ноябрь. 448 бет.
15. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Самандаров Э.Ш., Қодамбоев П.Қ., Мухаммад Надим Ахтар. Na-Fe(III) ва EDTA асосидаги координацион полимернинг рентгеноструктур таҳлили. Халқаро анжуман материаллари тўплами. Наманган, 2024 йил. 3-бет.
16. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Қодамбоев П.Қ., Самандаров Э.Ш. 1D, 2D ва 3D органометалл полимерларнинг синтези. Халқаро анжуман материаллари тўплами. Наманган, 2024 йил. 2-бет.
17. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Х.Жанг, Х.Ли. Сульфанил кислотасидан олинган 1D Mn координацион полимернинг кристалл тузилиши. Қўқон, 2024 йил. 8-бет.
18. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Х.Жанг, Х.Ли. Сульфанил кислотасидан олинган 1D Mn координацион полимернинг Hirschfeld таҳлили. Қўқон, 2024 йил. 11-бет.
19. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Рўзиев У.У., Холтороев Қ.Б. Металл-органик полимерларнинг замонавий олиниш усуллари. Урганч, 2024 йил. 293-294 бет.
20. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Рўзиев У.У., Холтороев Қ.Б. Металл-органик полимерларнинг олиниш методологияси. Урганч, 2024 йил. 307-308 бет.
21. Абдуллаев А.Х., Якубов Ю.Ю., Ибрагимов А.Б., Рўзиев У.У., Холтороев Қ.Б. Металл-органик полимерларнинг ҳосил бўлишига таъсир этувчи омиллар. Урганч, 2024 йил. 310-311 бет.

22. Абдуллаев А.Х. ва бошқ. Катена-[бис (формато) мис (II) диметиламин]н метал-органик каркаснинг текстурал таҳлили. *Academic Research in Modern Science*, 2024 йил. №4. 135-137 бет. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14059034>.

23. Абдуллаев А.Х. ва бошқ. Катена-[бис (μ_2 (+) -тарtrat) -диаква-дизинк (II) тригидрат] 2D метал-органик каркаснинг текстурал таҳлили. *Current Approaches and New Research in Modern Sciences*, 2024 йил. №6. 71-73 бет. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14059034>.