

**TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 RAQAMLI ILMY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
FANLAR AKADEMIYASI XORAZM MA‘MUN AKADEMIYASI**

QODAMBOYEV PIRNAZAR QODAMBOYEVICH

**QALAY ASOSIDA NOCHIZIQLI OPTIK MATERIALLAR SINTEZI,
TUZILISHI VA XOSSALARI**

**02.00.01-Noorganik kimyo
02.00.04-Fizik kimyo**

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Termiz –2025

**Kimyo fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiya avtoreferati
mundarijasi**

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

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

Qodamboyev Pirnazar Qodamboyevich Qalay asosida sintez qilingan nochiziqli optik materiallar sintezi, tuzilishi va xossalari	3
Кодамбоева Пирназара Кодамбоевича Синтез, структура и свойства нелинейных оптических материалов на основе олова.....	21
Kodamboev Pirnazar Kodamboevich Synthesis, structure and properties of nonlinear optical materials synthesized on the basis of tin.....	41
Е‘lon qilingan ishlar ro‘uxati Список опубликованных работ List of published works	45

**TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 RAQAMLI ILMY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
FANLAR AKADEMIYASI XORAZM MA‘MUN AKADEMIYASI**

QODAMBOYEV PIRNAZAR QODAMBOYEVICH

**QALAY ASOSIDA NOCHIZIQLI OPTIK MATERIALLAR SINTEZI,
TUZILISHI VA XOSSALARI**

**02.00.01-Noorganik kimyo
02.00.04-Fizik kimyo**

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Termiz– 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/K913 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya O‘zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasi qoshidagi Umumiy va noorganik kimyo institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tersu.uz) va «ZiyoNet» axborot ta’lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbarlar:

Ibragimov Aziz Baxtiyarovich
kimyo fanlari doktori, professor

Chellakurungu Balakrishnan
kimyo fanlari bo‘yicha falsafa doktori
professor

Rasmiy opponentlar:

Muqumova Gulvar Jumayevna
kimyo fanlari doktori, dotsent

Begjonov Davron Jumazarovich.
kimyo fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Buxora davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Termiz davlat universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil «__»_____soat ____ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 190111, Termiz shahri, Barkamol avlod ko‘chasi, 43-uy. Tel.: (+99876) 221-74-55, faks: (+99876) 221-71 -17, e-mail:termizdu@umail.uz).

Dissertatsiya bilan Termiz davlat universitetining Axborot resurs markazida tanishish mumkin (№__raqami bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 190111, Termiz shahri, Barkamol avlod ko‘ chasi, 43-uy. Tel.: (+99876) 221-74-55, faks: (+99876) 221-71 -17, e-mail: termizdu@umail.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil «__»_____kuni tarqatildi.
(2025-yil «__»_____dagi ____ raqamli reyestr bayonnomasi).

I.A.Umbarov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash raisi, k.f.d., prof.

Sh.A.Kasimov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash kotibi, k.f.d., prof.

G.J.Muqumova

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy
seminar raisi, k.f.d., dots.

KIRISH

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.

Nochiziqli optik moddalarning optik xossalari, xususan, issiqlikka chidamliligi va qayta tiklanuvchanligi kabi xususiyatlari, metall komplekslari yordamida sezilarli darajada yaxshilanishi mumkin. Shuningdek, metall yoki ligandning zaharliligini kompleks birikmalarini olish orqali kamaytirish imkoniyati mavjud bo'lib, bu jarayon zaxarli metallar va organik birikmalarning metall komplekslarini sintez qilish bo'yicha tizimli tadqiqotlarning dolzarb yo'nalishlaridan biriga aylanmoqda.

Jahon ilmiy manbaalarida tarkibida donor atomlar azot va kislorod saqlagan ligandlar metall komplekslar sintezida katta imkoniyatlarga ega ekanligi ma'lum. Ushbu ligandlar bilan qalay (Sn) metalining hosil qilgan koordinatsion birikmalari tuzilishi va xossalari ishlatiladigan metall, ligandlarning kimyoviy xususiyatlari, soni, sintez harorati va boshqa bir qator omillarga bog'liq. Hozirgacha ko'plab kompleks birikmalarning tuzilishi va xossalari o'rganilgan bo'lsada, nochiziqli optik moddalarning komplekslarini olish orqali metallarning zaharliligini pasaytirish hamda nochiziqli optik faolligini oshirish borasida olib borilgan ilmiy tadqiqotlar adabiyotlarda nisbatan kam uchraydi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 3 apreldagi PQ-4265-sonli "Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va investitsion jozibadorligini oshirish" Qarori, 2020 yil 12 avgustdagi PQ-4805-sonli "Kimyo va biologiya yo'nalishlarida uzluksiz ta'lim sifatini va ilmiy natijadorlikni oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarori, 2021 yil 13 fevraldagi PQ-4992-sonli "Kimyo sanoati korxonalarini yanada isloh qilish, moliyaviy sog'lomlashtirish va yuqori qo'shilgan qiymatli kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarori, shuningdek, 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni va boshqa tegishli me'yoriy-huquqiy hujjatlar doirasida belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqotining natijalari o'z hissasini qo'shadi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Ushbu tadqiqot O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining VII "Kimyo texnologiyalari va nanotexnologiyalar" ustuvor yo'nalishi doirasida amalga oshirilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Dunyoning yetakchi ilmiy markazlarida tarkibida donor atomlari azot va kislorod tutgan ligandlar bilan oraliq metallar komplekslarini sintez qilish, ularning fazoviy tuzilishi va biologik faolligini aniqlash borasida ko'plab tadqiqotlar olib borilgan. Xususan, S.Jaumeer-Laulloo, V.Veena, S.Kezo, K.R.Reddy, H.Saxena, W.Kaminsky, M.R.Kollipara, E.Xatiwora, G.Puranik, D.Darmadhikar, A.Adebomi, O.Gabriel kabi dunyo olimlari, shuningdek MDH mamlakatlari miqyosida Ye.V.Antipov, A.P. Gulya, N.T. L.M.Sharkova, N.F.Kucherova, G.N.Artemenko Kuznesov V.I. Pexnko boshchiligidagi olimlarning ilmiy guruhlari va maktablari shug'ullanishgan.

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

Mamlakatimizda kompleks birikmalarning sintezi, tuzilishi va xossalarini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar akademiklar N.A.Parpiyev, B.T.Ibragimov, professorlar X.X.Xakimov, X.T.Sharipov, O.F.Xodjayev, T.A.Azizov, X.X.Turayev, Sh.A.Kadirova, Z.Ch.Kadirova, Sh.Sh.Daminova, A.B.Ibragimov, J.M.Ashurov, Sh.A.Kasimov va boshqa olimlar tomonidan olib borilgan.

Xalqaro Kembrij kristallografik ma'lumotlar bazasi (Cambridge Crystallographic Data Center, CCDC-2024) tahliliga ko'ra, bugungi kunga qadar Shuning uchun, tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo'lgan ligandlar asosida yangi kompleks birikmalarni sintez qilish, ularning fizik-kimyoviy xossalarini aniqlash va biologik faolligini o'rganish ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim **muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi**. O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining Umumiy va noorganik kimyo institutida 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Davlat ilmiy-texnik dasturi (F3-20200929348 raqamli fundamental loyiha) doirasida bajarilgan

Tadqiqotning maqsadi Sn (II) hamda Sn(IV) xlorid va bromid tuzlarining tarkibida azot va kislorod bo'lgan ligandlar (1-(piridin-2-il) etan-1-on, piridin-3-ilmetanamin, 2-morfolinetan-1-amin, piridin-4-ilmetanamin va 4-metilxinolin) bilan yangi komplekslarini sintez qilish, ularning tuzilishi, elektr o'tkazuvchanligi va nochiqli optik xususiyatlarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

Tarkibida azot va kislorod donor atomlari mavjud bo'lgan ligandlarning Sn (II) va Sn (IV) xloridlari hamda bromidlari bilan kompleks birikmalarini sintez qilish, ularning monokristallarini olish sharoitlarini aniqlash;

kompleks birikmalarning tuzilishi, tarkibi va fizik-kimyoviy xossalarini zamonaviy tadqiqot usullari yordamida aniqlash;

yangi sintez qilingan kompleks birikmalarning termik barqarorligini aniqlash;

tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo'lgan ligandlarning Sn (II) va Sn (IV) xloridlari hamda bromidlari bilan kompleks birikmalarining reaksiya qobiliyati, ta'sirlashish energiyalari va elektron tuzilishini kvant-kimyoviy hisoblash usullari yordamida aniqlash;

sintez qilingan kompleks birikmalarning elektr o'tkazuvchanligi va nochiqli optik faolligini aniqlash.

Tadqiqot ob'yekti: Sn (II) va Sn (IV) xloridlari hamda bromidlari, tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo'lgan 1-(piridin-2-il) etan-1-on, piridin-3-ilmetanamin, 2-morfolinetan-1-amin, piridin-4-ilmetanamin va 4-metilxinolin ligandlari hamda ular asosida olingan kompleks birikmalar.

Tadqiqot predmeti: tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo'lgan optik foal ligandlarning metall tuzlar bilan kompleks birikmalari sintezi, kristall tuzilishi, kvant-kimyoviy parametrlari, elektr o'tkazuvchanligi, molekulalararo ta'sir energiyasi, fizik-kimyoviy va nochiqli optik xossalari.

Tadqiqot usullari. Yangi kompleks birikmalarning tarkibi va tuzilishini aniqlashda rentgen tuzilish tahlili (RTT), kukunli rentgen difraksiyasi (XRD)

element tahlili, UB- va IQ-spektroskopiya, termik (TG va DTA) tahlil, kvant-kimyoviy hisoblash va Z-scan faollikni aniqlash usullaridan foydalanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Ilk bor Sn (II) va Sn (IV) xloridlari hamda bromidlari bilan tarkibida azot hamda kislorod saqlagan ligandlar: 1-(piridin-2-il) etan-1-on, piridin-3-ilmetanamin, 2-morfolinetan-1-amin, piridin-4-ilmetanamin va 4-metilxinolin bilan 10 ta yangi aralash ligandli kompleks birikmalari sintez qilindi va ularning monokristallari olingan;

Rentgen tuzilish tahlili yordamida olingan kompleks birikmalarning tarkibi, tuzilishi va metall ionlarining ligand donor atomlari bilan koordinatsiyalanish qonuniyatlari o'rganilgan;

Hirshfeld sirt tahlili natijasida sintez qilingan kompleks birikmalarda H...H, H...Cl/Cl...H, H...Br/Br...H va O...H/H...O ta'sirlarining ulushi va kristallardagi molekulararo ta'sirlashish energiyalari aniqlangan;

Sintez qilingan moddalarning nochiziqli optik xossalari o'rganilganda, ularning nochiziqli optik faolligi yuqori ekanligi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Sn (II) va Sn (IV) xloridlari hamda bromidlari bilan tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo'lgan ligandlar bilan aralash kompleks birikmalarini sintez qilishning maqbul sharoitlari aniqlangan;

Tarkibida Sn (II) va Sn(IV) ioni bo'lgan kompleks birikmalar yarim o'tkazgichlar sifatida ishlatilishi, ularning abiotik va biotik omillarga chidamliligini oshirishi, shuningdek, ulardan kam energiya berib yuqori natija oladigan fizik qurilmalarda foydalanish mumkinligi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi sintez qilingan kompleks birikmalarning tarkibi, tuzilishi va xossalari element tahlili, RTT, UB- va IQ-spektroskopiya, termik va Z-scan tahlillar hamda kvant-kimyoviy hisoblash usullari yordamida tasdiqlanganligi, tajriba natijalarining taqriz qilinuvchi xalqaro va mahalliy ilmiy jurnallarda nashr etilishi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati Sn (II) va Sn(IV)xlorid va bromid ionlarining tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo'lgan ligandlar bilan yangi kompleks birikmalari sintez qilinganligi, ularning monokristallari ajratib olinganligi, kristall tuzilishlari, molekulararo ta'sirlashish energiyalari hamda kvant-kimyoviy parametrlarining aniqlanishi, shuningdek, fizik-kimyoviy xossalarning zamonaviy tahlil usullari yordamida o'rganilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundaki, SP-05, SP06 va MP-03 MP-04 kompleks birikmalarining kristallografik ma'lumotlari Kembrij kristallografik ma'lumotlar bazasiga (CCDC) kiritilgan. Ushbu ma'lumotlardan foydalanish o'xshash kompleks birikmalarni sintez qilish, ularning tuzilishini tavsiflash xalqaro olimlar hamjamiyatining umum foydalanish maqsadlariga amaliy yordam beradi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dissertatsiya doirasida sintez qilingan yangi komplekslar tuzilishi va optik xossalari bo'yicha olingan natijalar asosida:

Qalay asosida sintez qilingan kompleks birikmalar “Muborak gazni qayta ishlash zavodi” qoshidagi ilmiy ishlab chiqarish laboratoriyalarining quyosh batareyalaridagi hosil bo‘layotgan optik energiyaning elektr energiyasiga aylanishida qo‘llab ko‘rilgan. Sinovlar davomida kraun efirlari asosida tayyorlangan quyosh batareyasi panellarining yaroqlilik muddati uzoqligi va arzon xom-ashyolardan tayyorlanishi bilan ustunligi aniqlandi. Olingan ma’lumotlarni amalyotga tadbiq qilish uchun “Muborak gazni qayta ishlash zavodi”ning 2026-2028-yillarga mo‘ljallangan istiqbolli rejalariga kiritildi («Muborak gazni qayta ishlash zavodi» ning 09.07.2025 yildagi 962/GK-07 sonli ma’lumotnomasi).

SP-05, SP06 va MP-03 MP-04 kompleks birikmalarni fazoviy tuzilishi, barcha kristallografik kattaliklari, hamda individualligiga asoslanib, mos ravishda Kembrij kristallografik ma’lumotlar bazasida CCDC depozit raqamlari: №2333700, №2333701, №2298491, №2298492 bilan ro‘yxatdan o‘tkazildi. Natijada ushbu birikmalarni sintez qilish va tuzilish ma’lumotlaridan butun dunyo olimlari foydalanish imkoniyatiga erishildi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 12 ta, shu jumladan, 2 ta xalqaro va 10 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 19 ta ilmiy ish, shundan 7 tasi O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda (5 tasi respublika va 2 tasi xorijiy ilmiy jurnallarda) chop etilgan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o‘tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, ob‘yekt va predmetlari tavsiflangan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi, amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

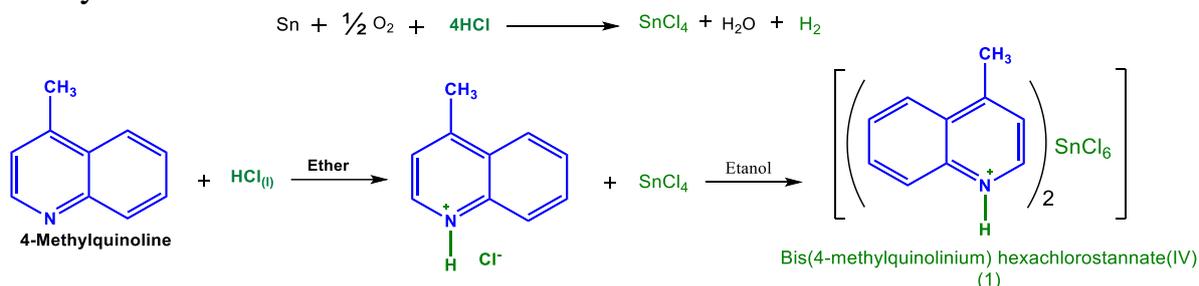
Dissertatsiyaning “Tarkibida donor atomlari azot va kislorod bo‘lgan ligandlarning o‘tish metallari bilan kompleks birikmalari” deb nomlangan **birinchi bobida** metallarning tarkibida azot va kislorod tutgan ligandlar bilan komplekslari sintezi, molekulyar va kristall tuzilishlari, fizik-kimyoviy xossalari va optik faolligiga oid adabiyotlar tahlili keltirilgan. Tahlil natijalari azot va gidroksil guruhidagi kislorod atomlari, metallar bilan bidentant komplekslar hosil bo‘lishiga sabab bo‘lishini ko‘rsatdi.

Dissertatsiyaning **ikkinchi bobi** “Ob‘yektlar, sintez jarayonlari va tadqiqot uslublari” bo‘lib, tadqiqot doirasida foydalanilgan asboblari, kompleks birikmalar sintezi, qo‘llanilgan fizik usullar (spektraskopik usullar, element tahlili, termik tahlil, RTT, Hirshfeld sirt yuzasi tahlili va boshq.) va molekulyar doking usuli tavsiflangan, olingan amaliy natijalar keltirilgan.

Optik materialning sintezi.

1.4 ml 4-metilkinolin (aromatik geterotsikl birikma) va 2 ml xlorid kislota dietil efir (10 ml) ichida xona haroratida aralastirilib, 4-metilkinolinium xlorid eritmasi hosil qilinadi. Ushbu aralashma 60°C ga qizdirilib, 10 daqiqa davomida ushbu haroratda ushlab turiladi. Bu jarayonda amin guruhining protonatsiyasi va xlorid anionining boglanishi sodir boladi. Soviganidan song, 4-metilkinolinium xlorid erimadan cho'kib chiqadi (precipitatatsiya). Cho'kindi dietil efir bilan yuvilib, tozalangan holda olinadi. Keyin bu zaxarli eritma etanolga o'tkazilib, keyingi bosqichga tayyorlanadi. 0.118 g qalay (Sn) 5 ml 36.5% li xlorid kislota ichida xona haroratida eriydi. Bu jarayon taxminan 7 soat davom etadi, chunki qalayning kislota bilan reaksiyasi sekin boladi. Reaksiya natijasida qalay xlorid (SnCl₂ yoki qalay(II) xlorid) hosil boladi, bu eritma keyingi bosqichda ishlatiladi. Tayyorlangan 4-metilkinolinium xlorid etanolga eritilgan eritmasiga qalay xlorid eritmasi sekin qoshiladi. Ushbu aralashma doimiy ravishda aralastirilib, xona haroratida reaksiya sodir bolishi taminlanadi. Reaksiya natijasida 4-metilkinolinium xlorid va SnCl₂ ortasida kompleks yoki yangi birikma hosil bolishi mumkin, ammo sxemada aniq mahsulot korsatilmaganligi sababli, bu jarayon prekursorning keyingi modifikatsiyasi sifatida korib chiqiladi. Agar yakuniy mahsulot kristallar shaklida chiqsa, sovutish va filtrlash orqali ajratib olinadi. Mahsulot nomi: Bis (4-metilxinolinii) geksaxlorostannat (IV)

Reaksiya chizmasi:



1-jadval.

Olingan kompleks birikmalar tarkibining element tahlili

Birikma	Tarkib	Molekulyar massa (g/mol)	C% Hisoblangan: (Topilgan):	H % Hisoblangan: (Topilgan):	N % Hisoblangan: (Topilgan):
SP-05	C ₁₂ H ₂₀ Cl ₈ N ₄ Sn	622.65	23.15 (23.10)	3.24 (3.19)	8.99 (8.82)
SP-06	C ₁₂ H ₂₀ N ₄ Br ₈ Sn	978.29	14.73(14.69)	2.06(2.04)	5.73 (5.68)
MP-05	C ₁₂ H ₃₂ Cl ₈ N ₄ O ₂ Sn	666.74	21.6 (21.02)	4.84 (4.79)	8.4(8.36)
MP-06	C ₆ H ₂₀ Br ₆ N ₂ O ₃ Sn	766.38	30.73 (30.02)	2.63 (2.58)	3.66 (3.62)
AD-21	C ₁₄ H ₁₆ O ₂ Br ₆ SnN ₂	842.42	19.96 (19.92)	1.91 (1.87)	3.33(3.26)
AD-27	C ₁₂ H ₁₀ Cl ₈ N ₄ Sn	612.57	23.53 (23.48)	1.65 (1.62)	9.15 (9.11)
AD-28	C ₁₂ H ₂₀ Br ₈ N ₄ Sn	978.26	14.73 (14.69)	2.06 (2.01)	5.73 (5.68)

Dissertatsiyaning “Olingan kompleks birikmalarning kristall tuzilishlari va fizik-kimyoviy xossalari” deb nomlangan **uchinchi bobida** yangi sintez qilingan metall kompleks birikmalari RTT, UB-, IQ-spektroskopiya, termik va konduktometrik usullar bilan tahlil qilindi. Komplekslarning kristall tuzilishi va fizik-kimyoviy xossalari aniqlanib, ma’lumotlar keltirildi.

Kristall strukturada Sn-Cl bog‘ining uzunliklari 2,4176(5) Å dan 2,4398(5) Å gacha o‘zgaradi, bu qalay atomi atrofida bir xil bog‘lanish muhitini ko‘rsatadi. Cl-Sn-Cl bog‘ burchaklari 87,73° dan 92,27° gacha o‘zgarib, ideal oktaedrik geometriyadan ozgina chetlashishni aks ettiradi. Birikma keng ko‘lamli vodorod bog‘lanishli o‘zaro ta’sirlarga ega bo‘lib, bu uning barqarorligi va strukturaviy tashkillanishiga sezilarli hissa qo‘shadi. Sn atomi olti koordinatsiyali bo‘lib, kvazi-muntazam oktaedrik tartibni hosil qiladi. Bu koordinatsion geometriya atrofda xlorid ionlari tomonidan barqarorlashtiriladi, ular vodorod bog‘lari bilan birgalikda kristall panjarasida mustahkam uch o‘lchovli to‘rni hosil qiladi. SnCl₆²⁻ anionining deyarli muntazam oktaedrik konfiguratsiyasi, keng vodorod bog‘lanishi bilan birgalikda, ushbu birikmaning strukturaviy xususiyatlarini belgilovchi murakkab kuchlar muvozanatini ko‘rsatadi.

2-jadval.

Sintez qilingan komplekslar IQ-Spektri (cm⁻¹)

Kompleks birikmalar	N-H yoki O-H	C-O yoki S=O	C-N yoki C=S	M-O yoki M-N
<u>SP-05</u>	3359, 3170	1024	1298, 1181	525
<u>SP-06</u>	3449, 3294	1411	1269	516
<u>MP-05</u>	3308.62	1650, 1471	1269.94	687.18, 443.49
<u>MP-06</u>	3480.30	1471.76	1161.07	637, 487, 427.
<u>ADI-27</u>	3336.76	1548, 1392, 1329.	884.79, 791.04	679.32, 512.64
<u>ADI-28</u>	3389.41, 3180.35	1421, 1246.	791.04	559.70, 685.58
<u>ADI-21</u>	2874.30	1404.44	—	644.85

3- jadval.

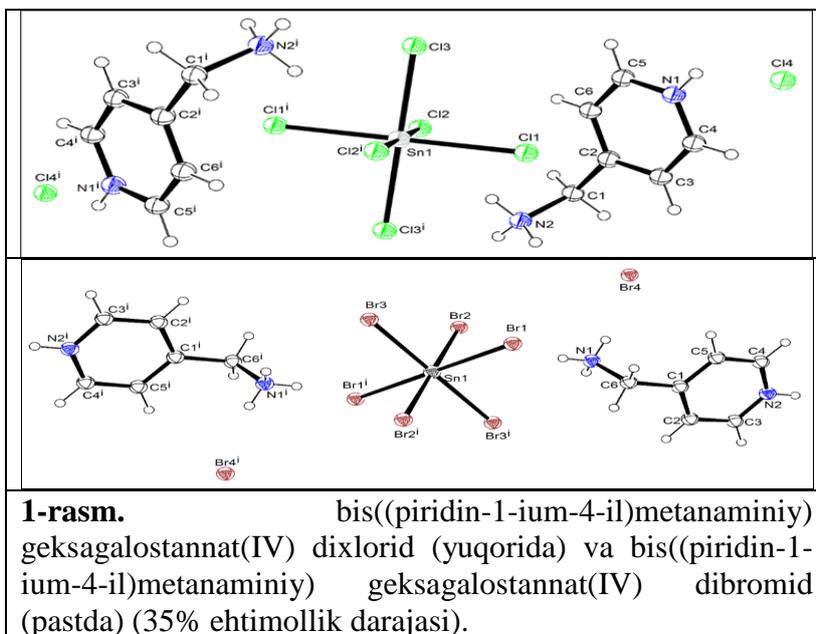
Sintez qilingan kompleks birikmalarning kristallografik ma’lumotlari

Kompleks Birikmalar	Mr (g/mol)	Singoniya	Faz. gur	a (Å)	b (Å)	c (Å)	α°	β°	γ°	V(Å ³)
<u>SP-05</u>	610.48	Tetragonal	I41/a	12.36	12.36	19.35	90	90	90	2955
<u>SP-06</u>	605.55	Ortorombik	Pbca	13,20	8,75	22,91	90	90	90	2650
<u>MP-05</u>	536.87	Monoklinik	P21/c	5,47	22,56	7,64	90	92	90	944,0
<u>MP-06</u>	1188.8	Monoklinik	P21/n	17.42	8.9	19.2	90	96	90	2983
<u>ADI-27</u>	469.32	Monoklinik	C2/c	20.7	6.44	13.5	90	106	90	1736
<u>ADI-28</u>	587.49	Monoklinik	P21/n	11.36	8.68	13.01	90	109	90	1208
<u>ADI-21</u>	842.44	Monoklinik	C2/c	17.52	7.65	17.41	90	99.4	90	2303
<u>ADI-22</u>		Monoklinik	C2/c	17.51	7.65	17.42	90	99.4	90	2304
<u>ADI-24</u>	368.67	Triklirik	P-1	7.19	10.33	10.63	112	96	110	654.3

OLINGAN KOMPLEKS BIRIKMALARNING KRISTALL TUZILISHLARI VA FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Rentgen tahlili uchun bis((piridin-1-ium-4-il)metanaminiiy) geksagalostannat(IV) dixlorid (1) va bis((piridin-1-ium-4-il)metanaminiiy) geksagalostannat(IV) dibromid (2) monokristallari muvaffaqiyatli tayyorlandi. Bungaharoratida reaksiya aralashmasini o'z ichiga olgan etanol eritmalarini asta-sekin bug'latish orqali erishildi. Olingan kristallar batafsil rentgen tavsifi uchun zarur bo'lgan strukturaviy yaxlitlik va tozalikka ega edi. 1-jadvalda kristallografik ma'lumotlar, shu jumladan ma'lumotlarni yig'ish va aniqlash parametrlari hamda birikmalar bo'yicha o'tkazilgan tahlillar natijalari keltirilgan. Bundan tashqari, S1 va S2 jadvallarda strukturalarni yanada aniqlash uchun bog' uzunliklari, bog' burchaklari va ikki yoqli burchaklarning to'liq ro'yxati berilgan.

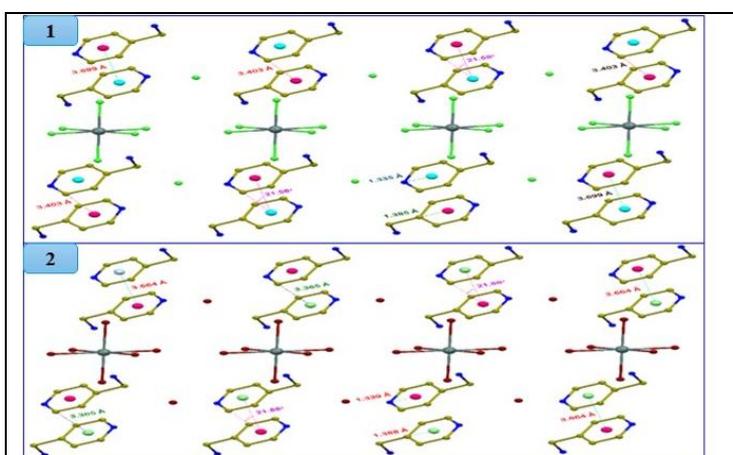
Ayniqsa, vodorod atomi H(2A) uchta xlor atomi bilan uch markazli vodorod bog'lanish o'zaro ta'sirlarida ishtirok etadi. Bu o'zaro ta'sirlar N(2)•••Cl(1), N(2)•••Cl(2) va N(2)•••Cl(3) ni o'z ichiga olib, mos ravishda 3,477(4) Å, 3,575(1) Å va 3,324(2) Å masofalarni tashkil etadi. Bu murakkab vodorod bog'lanish tarmog'i birikmaning barqarorligi va strukturaviy yaxlitligiga sezilarli hissa qo'shadi. H(2A) atomi ishtirokidagi uch markazli vodorod bog'lanishi murakkab, ammo barqaror o'zaro ta'sir naqshini ko'rsatadi, bu esa kristall panjarani bir butun holda ushlab turishga yordam beradi. Ushbu murakkab vodorod bog'lanish tarmog'i birikmaning barqarorligi va strukturaviy yaxlitligiga sezilarli hissa qo'shadi. H (2A) atomi ishtirokidagi uch markazli vodorod bog'lanishi murakkab, ammo barqaror o'zaro ta'sir sxemasini ko'rsatadi, bu esa kristall panjarani bir-biri bilan ushlab turishga yordam beradi.



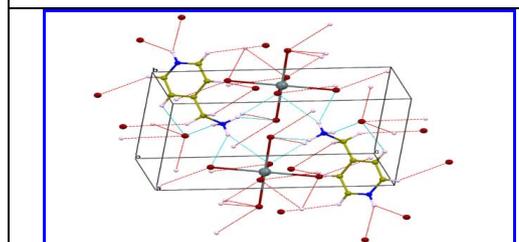
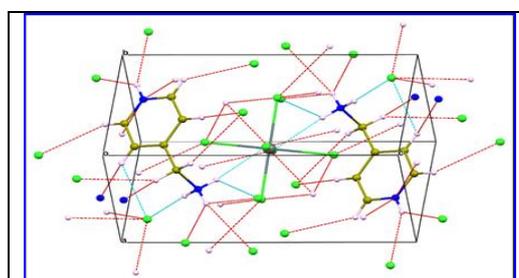
4-Jadval

Tanlangan bog' uzunliklari (Å), burchaklar (°) va dihedral burchaklar (°) (1) uchun.

Bog'	Uzunlik [Å]	Bog'	Uzunlik [Å]
C(1)-N(2)	1.485(2)	C(5)-N(1)	1.330(2)
C(1)-C(2)	1.508(2)	C(5)-C(6)	1.372(2)
C(2)-C(6)	1.383(2)	Cl(1)-Sn(1)	2.4397(4)
C(2)-C(3)	1.390(2)	Cl(2)-Sn(1)	2.4292(4)
C(3)-C(4)	1.375(2)	Cl(3)-Sn(1)	2.4176(4)
C(4)-N(1)	1.334(2)		



2-rasm. (1) va (2) ning $\pi\cdots\pi$ o'zaro ta'sirlari bilan molekulyar to'plam



3-Rasm 1-va 2-birikmalarning kristal qadoqda joylashuvi

5-Jadval

Vadarod bog'lanish (1) va (2) [Å va °].

D-H...A	d(D-H)	d(H...A)	d(D...A)	<(DHA)
(1)				
N(1)-H(1)•••Cl(4)	0.86(1)	2.49(2)	3.165(2)	136(2)
N(1)-H(1)•••Cl(4)	0.86(1)	2.57(2)	3.208(1)	132(2)
N(2)-H(2A)•••Cl(1)	0.88(2)	2.75(2)	3.477(4)	140(2)
N(2)-H(2A)•••Cl(2)	0.88(2)	2.89(2)	3.575(1)	136(2)
N(2)-H(2A)•••Cl(3)	0.88(2)	2.69(2)	3.324(2)	129(2)
N(2)-H(2B)•••Cl(2)	0.90(2)	2.43(2)	3.305(2)	165(2)
C(6)-H(6)•••Cl(3)	0.93	2.7567	3.651(2)	161.5

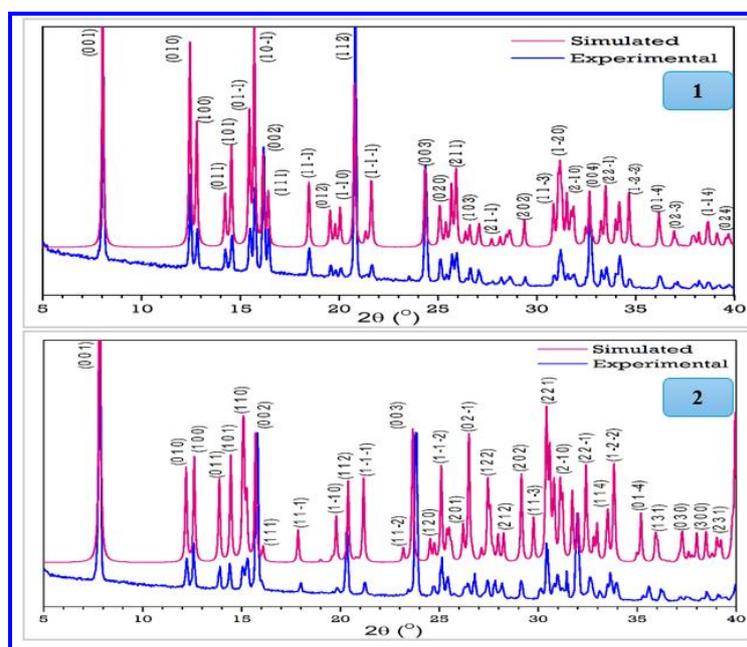
(2)				
C(2)-H(2)•••Br(3)#1	0.95	2.84	3.771(5)	165.9
C(3)-H(3)•••Br(2)#2	0.95	3.05	3.759(5)	132.9
C(3)-H(3)•••Br(4)#2	0.95	2.94	3.481(5)	117.8
C(4)-H(4)•••Br(1)#3	0.95	3.00	3.809(5)	143.3
N(1)-H(1A)•••Br(2)#5	0.858(18)	2.58(2)	3.411(4)	164(4)
N(1)-H(1B)•••Br(1)	0.854(18)	2.80(3)	3.540(4)	146(5)
N(1)-H(1B)•••Br(2)	0.854(18)	3.05(5)	3.703(4)	135(5)
N(1)-H(1C)•••Br(4)	0.850(19)	2.40(2)	3.227(4)	164(5)

Simmetriya transformatsiyalari ekvivalent atomlarni hosil qilish uchun ishlatiladi.

#1 -x+2,-y+1,-z+1 #2 x+1,y-1,z, #3 -x+1,-y+1,-z+2 #4 -x+1,-y,-z+2 #5 -x+1,-y+1,-z+1

SP-05 va SP-06 Kukun rentgen difraksiyasi tahlili

4.rasmda SP-05 va SP-06 komplekslarining simulyatsiya qilingan va eksperimental XRD difraktogrammalari taqqoslangan. Cho‘qqilar pozitsiyalaridagi yuqori darajadagi moslik sintez qilingan namunalar kristall fazasining tozaligini va strukturaviy yaxlitligini tasdiqlaydi. Ba’zi cho‘qqilarning intensivligidagi farqlar namunaning kristallografik yo‘nalishdagi afzallangan orientatsiyasi bilan izohlanadi. Eksperimental difraktogrammadagi o‘tkir va yuqori intensivlikdagi cho‘qqilar komplekslarning yuqori darajada kristallanganligini ko‘rsatadi. Simulyatsiya va tajribaviy ma’lumotlar o‘rtasidagi yaqin moslik esa sintez jarayonining ishonchliligi hamda strukturaviy modelning to‘g‘riligini tasdiqlaydi.



4-rasm. (1) va (2) ning modellashtirilgan va eksperimental XRD namunalari.

SP-05 va SP-06 IQ-spektroskopiyasi tahlil

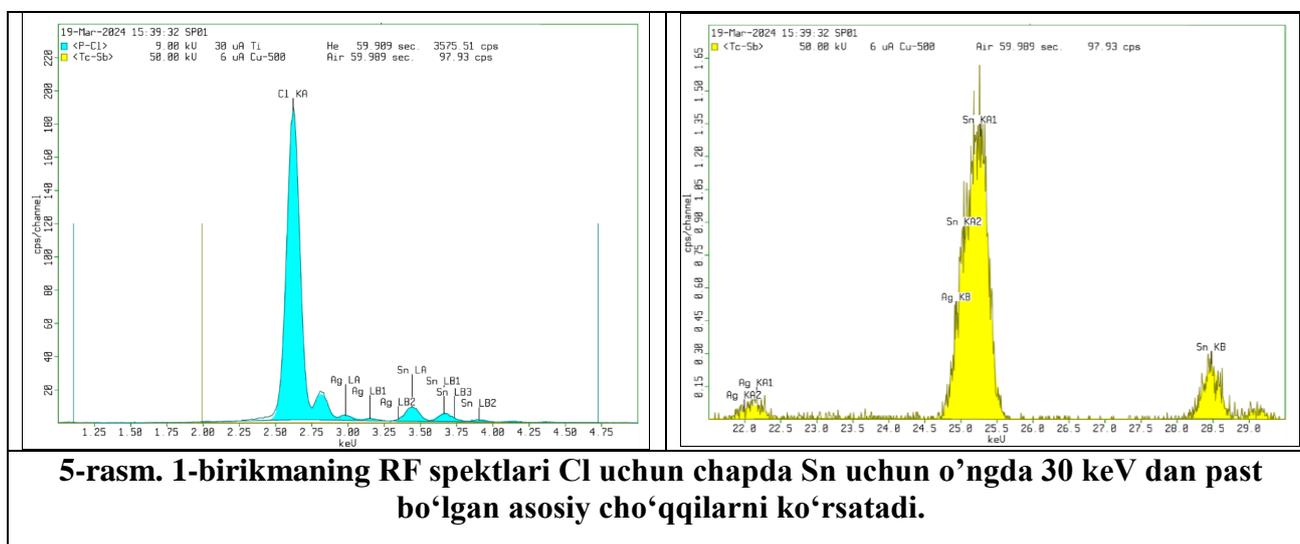
6-Jadval

Sintez qilingan optik materiallarning IQ-spektri (cm⁻¹) ma'lumotlari

	N-H yoki O- H	Amino guruhi (N- H)	Aromatik (C-H)	CN)- sian	=O	Aromatik C=C	M-galogenid
SP-05	3375	3193	3061	2244		1650, 1623, 1464	673, 474
SP-06	3590	3137	3054	2248		1640, 1587, 1459	814;571

SP-05 va SP-06 komplekslarining rentgenofluoessent (RFT) tahlili

RFT spektrlarida Sn, Cl va Br elementlariga xos xarakterli cho‘qqilar aniqlanib, ular mos ravishda [SnCl₆]²⁻ va [SnBr₆]²⁻ anionlarining mavjudligini tasdiqlaydi. SP-05 namunasi spektrida Sn va Cl elementlariga tegishli cho‘qqilar (S6-rasm), SP-06 namunasi spektrida esa Sn va Br elementlariga xos cho‘qqilar (S7-rasm) qayd etilgan. Qalayning K α va K β chiziqlari 20–25 keV, xlorning K α chizig‘i 2.5–3.0 keV, bromning K α va K β chiziqlari esa 11–15 keV oralig‘ida kuzatiladi. Cho‘qqilarning intensivligi elementlarning namunadagi konsentratsiyasi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, kuchli cho‘qqilar ularning yuqori miqdorda mavjudligini ko‘rsatadi [30,31].



Nochiziqli optik materiallarning parchalanish jarayonining kinetik parametrlari

MP-03 Optik birikmasining parchalanish kinetikasi faollanish energiyasi, reaksiya tezligi, konversiya darajasi va harorat tasiriga asoslanadi. Kinetik parametrlari Frimen-Kerroll, Sharp-Uentvort, Ahara va modifikatsiyalangan noparametrik kinetika (NPK) usullari bilan o‘rganildi. Kinetik tahlil natijalari molekulyar tuzilish bilan bog‘liq bo‘lib, faollashtirish energiyasi 20-700°C harorat oralig‘ida hisoblandi.

Ma'lumki qattiq zarrachaning parchalanish darajasini quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(1-\alpha)^n,$$

bu yerda α – moddaning parchalanish darajasi (quyidagi tenglama yordamida hisoblangan); n – reaksiya tartibi; k - reaksiya tezligi konstantasi, Arrenius tenglamasi (3) [97; 1033-1038-b] bilan aniqlanadi.

$$\alpha = \frac{W_0 - W_t}{W_0 - W_\infty},$$

bu erda W_0 - namunaning boshlangich massasi; W_t - t vaqt davridagi namunaning massasi, W_∞ - termal parchalanishdan keyingi namunaning massasi.

$$k = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right).$$

(3) tenglamani (1) tenglamaga qoyib, (4) bog'liqlikni olamiz:

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) f(\alpha).$$

(4) tenglamaning o'ng tomonini analitik usulda yechish mumkin bo'lgani uchun amaliyotda turli taqribiy usullar qo'llaniladi

Friman va Kerroll usuli Reaksiya tartibi n va reaksiyaning faollanish energiyasi E tenglama yordamida hisoblanadi

$$\frac{-\left(\frac{E}{R}\right)\Delta\left(\frac{1}{T}\right)}{\Delta \log W_r} = -n + \frac{\Delta \log\left(\frac{dw}{dt}\right)}{\Delta \log W_r},$$

bu yerda $W_r = W_c - W$, W_c – maksimal massa yo'qolishi; W - t vaqtidagi umumiy massa yo'qolishi.

Sharp va Uentvort usuli

$$\frac{\Delta \log\left(\frac{dc}{dt}\right)}{1-c} = \log \frac{A}{\beta} - \frac{E}{RT},$$

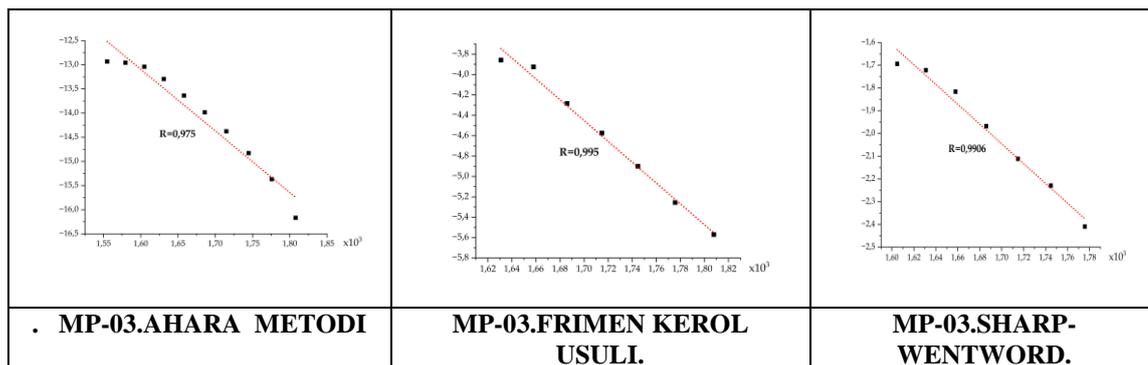
bu yerda c - t vaqt ichida reaksiyaga kirishgan namunaning massa ulushi; β – isitish tezligi.

Ahara usuli

$$\log\left[\frac{1}{f(\alpha)} \frac{d\alpha}{dt}\right] = \log \frac{A}{\beta} + \frac{E}{RT},$$

bu yerda α - t vaqt ichida reaksiyaga kirishgan namunaning massa ulushi va β – qizdirish tezligi. Tenglamaning chap tomonini $1/T$ funksiyasi sifatida chizib, biz E va A ni aniqlashimiz mumkin bo'lgan to'g'ri chiziqni olamiz. $f(\alpha)$ ning shakli reaksiyaning tabiatiga bog'liq.

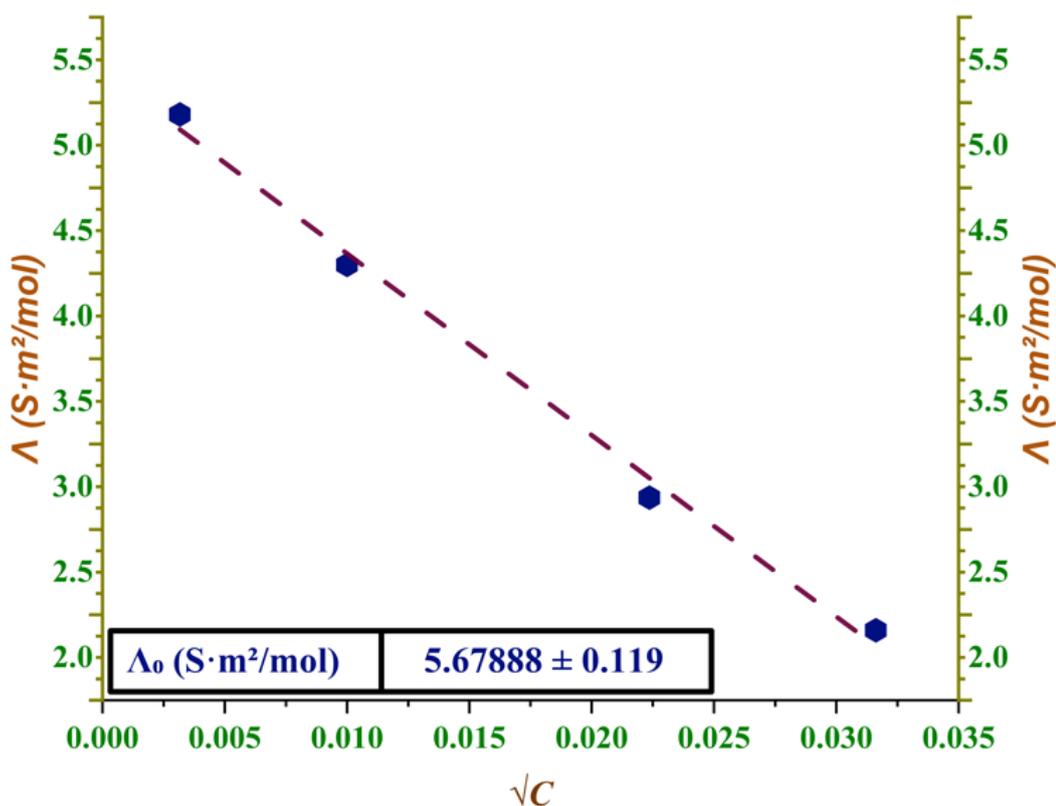
Kompleks birikmaning parchalanish jarayoni TG va DTA termoanalitik egri chizigʻlari yordamida tahlil qilindi. TG egri chizigida ogirlik yoʻqotilishi 287°Cda 0.57%, 295°C-362°C oraligʻida 17.02%, va 630°Cda 40% ga yetdi. DTA egri chizigida esa 295°C, 362°C va 630°Cda endotermik piklar kuzatildi, bu haroratlarda kompleksning parchalanish jarayonlari yuz beradi. TG-DTA tahlili kompleksning termik parchalanish bosqichlarini tasdiqlaydi. Shuningdek, MP-03 Optik birikmasining faollanish energiyalari (Frimen-Kerroll, Sharp-Uentvort, Ahara va noparametrik kinetika (NPK)usullari yordamida) hisoblanib, grafik tarzda tasvirlandi. Yuqoridagi usullardan foydalanib MP-03 Optik birikmasining faollanish energiyalari topildi



7-jadval

MP-04. KINETIK PARAMETRLAR.

T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)
280	553.15	281	554.15	282	555.15	283	556.15	284	557.15
290	563.15	6.83574	0.98337253	6.6593E-05	-4.1765744	-4.0966988	-9.616918	-12.683859	0.00177573
300	573.15	6.65008	0.98403845	0.00010084	-3.9963856	-4.1375726	-9.2020179	-12.718385	0.00174474
310	583.15	6.36895	0.98504681	0.00013225	-3.8786196	-4.2028305	-8.9308517	-12.751955	0.00171482
320	593.15	6.00025	0.98636926	0.00018411	-3.734913	-4.2954278	-8.5999551	-12.784619	0.00168591
330	603.15	5.48694	0.9882104	0.00026103	-3.5833106	-4.4405376	-8.2508775	-12.816191	0.00165796
340	613.15	4.75919	0.9908207	0.00032439	-3.488937	-4.6908039	-8.0335744	-12.846441	0.00163092
350	623.15	3.8548	0.99406456	0.00034582	-3.4611455	-5.1268145	-7.9695819	-12.875528	0.00160475
360	633.15	2.890644	0.9975228	0.00020662	-3.684822	-6.0006255	-8.4846163	-12.903895	0.0015794
370	643.15	2.31458	0.99958902	4.1098E-05	-4.386184	-7.7969767	-10.099562	-12.933167	0.00155485
380	653.15	2.2	1	0.00153104	-2.8150129	#ЧИСЛО!	-6.4818068	-12.963614	0.00153104



6-Rasm. Molar elektr o'tkazuvchanlikning \sqrt{C} ga bog'liqligi: Kohlrausch ekstrapolyatsiyasi orqali Λ_m^0 qiymatini aniqlash.

8-jadval.

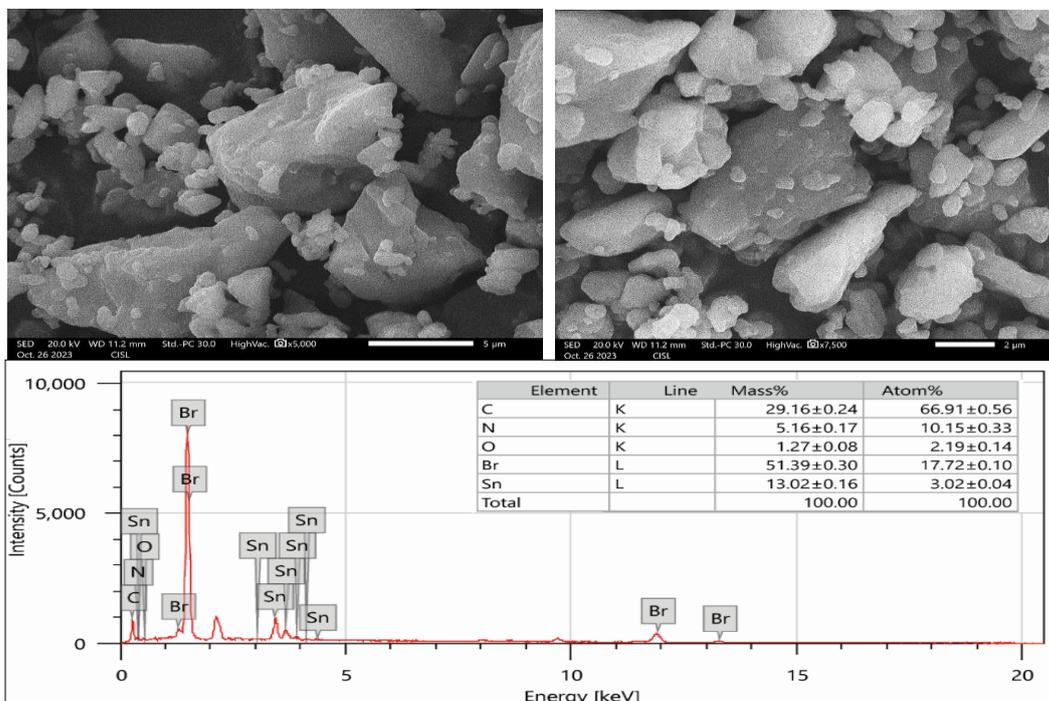
Termik parchalanish jarayoni uchun hisoblangan termodinamik parametrlar

Metodlar	E_a , kJ/mol
Frimen-Kerroll	96.31
Sharp-Uentvort	96.87
Ahara	98,68

ADI-23 SEM/EDS tahlili.

7- Rasm. S5 skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida tekshirilgan (1) va (2) birikmalarning sirt morfologiyasini ko'rsatadi. Nuqsonlarni aniqlash va sirt morfologiyasi haqida batafsil ma'lumot berish uchun SEM mikrofotografiyalaridan foydalaniladi. Ikkala duragayda ham g'ovakli zarrachalarning notekis joylashuvi va g'adir-budur yuzalar uchraydi. Gibridlarning elementar tarkibini tahlil qilish uchun energiya-dispersion rentgen spektroskopiyasi (EDS) qo'llanildi.

EDS elementlarni tushuvchi rentgen nurlari aniqlaydi. (1) birikma uchun uglerod, azot, qalay va xlor aniqlandi, rentgen nurlari energiyasi taxminan uglerod uchun 0,27 keV, azot uchun 0,39 keV, qalay uchun 3,50 keV va xlor uchun 2,80 keV. (2) birikma uchun uglerod, azot, kislorod, qalay va brom aniqlandi, rentgen nurlari energiyasi taxminan uglerod uchun 0,28 keV, azot uchun 0,39 keV,



7-Rasm S5 Birikmaning SEM tasvirlari (yuqorida) va EDS (pastda) spektrlari (2).

kislorod uchun 0,53 keV, qalay uchun 2,10 keV va brom uchun 1,50 keV. Bu energiyalar atomlardagi energetik sathlarning bir-biriga o‘tishiga mos keladi, natijada ma’lum uzunlikdagi rentgen nurlari chiqadi. Shunday qilib, EDS tahlili birikmalarda mavjud bo‘lgan elementlarni aniqlash va miqdoriy baholash imkonini beradi.

Olingan kompleks birikmalarning Hirshfeld sirt yuzasi tahlili

Hirshfeld yuzasi elektron zichligini taqsimoti orqali molekularning o‘zaro ta’sirlarini tahlil qilish mumkin. Sirt yuzasi kristallardagi molekulararo tasirlashishlarni aniqlashga, 2D barmoq izlari esa o‘zaro ta’sirlarning miqdoriy tahlilini amalga oshirishga yordam beradi. Bu tahlil kristallardagi o‘zaro ta’sirlarning tabiati va kuchi haqida muhim malumotlar beradi. Crystal Explorer 17.5 yordamida komplekslarning kristallari ichidagi molekulararo tasirlar tahlil qilindi va elektron zichligi taqsimotining vizual tasviri olindi (4.1-jadval).

9-jadval

Komplekslarning Hirshfeld yuzasi xususiyatlari

Kompleks	H...N/N... H (%)	C...H/ H...C (%)	O...H/ H...O (%)	H...G\G... H (%)	H...H(%)	G...G(%)	C...C(%)
SP-05	19	5.6	-	67.6	6.2	4.8	0.7
SP-06	0.4	5.2	-	62.6	16.4	6.1	0.9
ADI-27	1.4	8.5	-	65	15.3	2.3	0.5
ADI-28	1.5	7.5	-	67.6	12.3	3.2	1.2
MP-05	0.5	3.8	5.3	64.6	27.9	0.8	3
MP-06	0.7	6.1	11	66.4	15.6	7	1
ADI-21	2.3	4.1	6.7	63.5	12.4	1.6	0.9
ADI-22	1.7	5.9	7.4	67.1	16.7	2.6	1.4
ADI-23	0.6	4.5	-	63.1	8.6	9.9	0.9
ADI-24	1.4	6.7	-	68.3	15.2	0.8	0.6

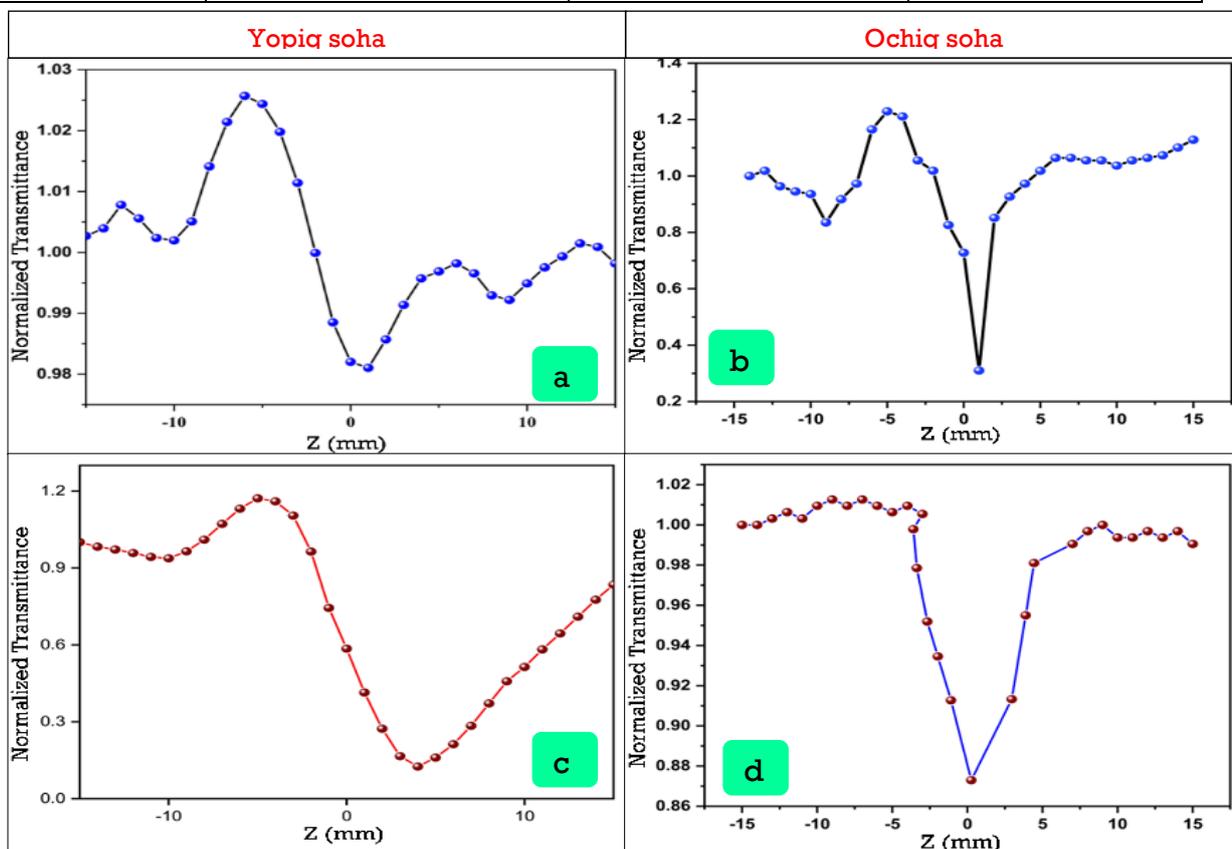
Z-skanerlash texnikasi.

SP-05;SP-06 Z-SCAN ma'lumotlari.

Grafikda $Z = 0$ da normalizatsiya qilingan transmissiyaning pasayishi, so'ngra ikki tomondan ko'tarilishi nochiqli yutilishni ikki foton yutilishi (TPA) yoki to'yingan yutilishni ko'rsatadi. $Z = 0$ da (fokus nuqtasi) transmissiya minimal qiymatga (0.984) tushadi, bu yuqori intensivlikda materialning ko'proq yorug'lik yutishini bildiradi. Namuna fokusdan uzoqlashganda transmissiya simmetrik ravishda oshadi. $Z = 0$ atrofidagi cho'qqi va kenglikda salbiy nochiqli sinish indeksini ($n_2 < 0$, o'z-o'zini difraksiyalash) ko'rsatadi. Kenglikdan cho'qqigacha o'tish materialning salbiy nochiqli sinishini tasdiqlaydi. Tebranishlar interferensiya yoki yuqori tartibdagi chiziqli bo'lmaganliklarni aks ettirishi mumkin, lekin asosiy cho'qqi-kenglik strukturasi chiziqli bo'lmagan fazaviy o'zgarish sabab bo'ladi. ΔT $Z = 0$ da normalizatsiya qilingan transmissiyadagi o'zgarishni (ochiq diafragma grafikidan) ifodalaydi. Barcha optik materiallarning Z-scan ma'lumotlari 4.1-jadvalda keltirilgan.

10-jadval

	$Re\chi^{(3)}$ (cm ² /W)	$Im\chi^{(3)}$ (cm/W)	$X^{(3)}$ (esu)
SP05	6.5143×10^{-10}	6.4971×10^{-9}	6.5297×10^{-9}
SP06	1.1971×10^{-9}	2.7828×10^{-8}	2.7853×10^{-8}
MP05	3.2040×10^{-11}	2.8050×10^{-9}	2.8052×10^{-9}
MP06	3.5192×10^{-11}	1.3864×10^{-8}	1.3864×10^{-8}
ADI21	6.7585×10^{-10}	1.9018×10^{-8}	1.9030×10^{-8}
ADI22	3.8619×10^{-10}	7.5457×10^{-8}	7.5458×10^{-8}
ADI27	3.2200×10^{-11}	2.9720×10^{-9}	2.9722×10^{-9}
ADI28	2.0446×10^{-11}	6.6741×10^{-9}	6.6741×10^{-9}



8-rasm (1) (a va b) and (2) (c va d). ning yopiq va ochiq aperturali Z-Skan egri chiziqlari

XULOSALAR

1. Tadqiqot natijalari Kembrij kristallografik ma'lumotlar bazasiga (CCDC 2298491, 2298492) kiritilib, perovskitlarga muqobil sifatida MP-05 va MP-06 komplekslarining yarim o'tkazgich va optik qurilmalarda samaradorligini oshirishda amaliy ahamiyati tasdiqlandi. Ushbu natijalar O'zbekistonning kimyo texnologiyala Ushbu dissertatsiya qalay (Sn(II) va Sn(IV)) asosidagi yangi kompleks birikmalarni sintez qilish va ularning noxiziqli optik xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan. Tadqiqotda azot va kislorod donor atomli ligandlar (piridin-4-ilmetanamin, 4-metilxinolin) bilan sintez qilingan 10 ta kompleks, xususan, MP-05, MP-06, SP-05, SP-06, ADI-27 va ADI-28, perovskitlarga alternativa sifatida o'rganildi. Rentgen tuzilish tahlili (RTT), UB va IQ-spektroskopiya, termik tahlil (TG, DTA) va Z-scan usullari yordamida ularning molekulyar tuzilishi va optik faolligi aniqlandi.

2. MP-05, MP-06, SP-05, SP-06, ADI-27 va ADI-28 komplekslari oktaedrik tuzilishga ega bo'lib, Hirshfeld sirt tahlili orqali H...H (67.6%), Cl/Br...H ta'sirlari va yuqori termik barqarorlik tasdiqlandi. Z-scan ma'lumotlari ularning uchinchi tartib noxiziqli optik faolligini ($n_2 \approx 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{W}$, $\beta \approx 10^{-13} \text{ cm/W}$) ko'rsatdi, bu optik sensorlar, fotonik qurilmalar va lazer texnologiyalarida qo'llash imkonini beradi. Komplekslarning kam zaharliligi perovskitlarga nisbatan ekologik afzallik taqdim etadi.

3. Tadqiqot natijalari Kembrij kristallografik ma'lumotlar bazasiga (CCDC 2298491, 2298492, 2333700, 2333701, 2464496, 2464497, 2464499) kiritildi. Ushbu komplekslar perovskitlarni almashtirishda samarali materiallar sifatida keng istiqbolga ega bo'lib, O'zbekistonning kimyo va nanotexnologiya sohasidagi strategik maqsadlariga hissa qo'shadi.ri va nanotexnologiyalar sohasidagi strategik maqsadlariga hissa qo'shadi.

4. MP-05 va MP-06 komplekslari perovskitlarga alternativa sifatida katta potentsialga ega. Ularning oktaedrik tuzilishi va H...H, H...C/C...H, O...H/H...O ta'sirlari Hirshfeld sirt tahlili orqali tasdiqlanib, yuqori termik barqarorlik va noxiziqli optik faollik ($n_2 \approx 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{W}$, $\beta \approx 10^{-13} \text{ cm/W}$) namoyon qildi. Bu xususiyatlar ularni optik sensorlar, fotonik qurilmalar va lazer texnologiyalarida qo'llash uchun mos qiladi. Komplekslarning zaharliligi ligandlarga nisbatan kamayganligi esa ekologik jihatdan xavfsiz materiallar sifatida foydalanish imkonini beradi. Gibrid materiallarning optik, elektron, issiqlik va dielektrik xususiyatlarini o'rganildi.

5. UV-DRS (optik taqiqlangan zona), PL (eksiton/elektron xatti-harakati) va Z-skanerlash (noxiziqli optika) kabi usullar tuzilma-xususiyat munosabatlarini tushunish uchun qo'llaniladigan an'anaviy fizik kimyo usullaridir.

6. XPS va SEM-EDS sirt tarkibi, elementlar tahlili va chegara xatti-harakatini o'rganadi — bular fizik kimyo va materiallarni tavsiflashda asosiy o'rin tutadi.

7. Qattiq jism va dielektrik fizikasi Dielektrik doimiysi, o'zgaruvchan tok o'tkazuvchanligi, yo'qotish tangensi va issiqlik tahlili (TDA) qattiq jismlar fizik kimyosi va kondensatlangan moddalar fizikasi bilan bog'liq.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.03/31.01.2023.К/Т.78.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТЕРМЕЗСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН
АКАДЕМИЯ НАУК ХОРЕЗМСКАЯ АКАДЕМИЯ МАЪМУН**

КОДАМБОВ ПИРНАЗАР КОДАМБОВИЧ

**СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НЕЛИНЕЙНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОЛОВА**

**02.00.01-Неорганическая химия
02.00.04-Физическая химия**

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

Термез-2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Узбекистана за номером. B2024.4.PhD/K865

Диссертация выполнена в Института общей и неорганической химии при Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета www.tersu.uz и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.uz.

Научные руководители:

Ибрагимов Азиз Бахтиярович
доктор химических наук, профессор
Челлакурунгу Балакришнан
доктор философии по химическим наукам
профессор

Официальные оппоненты:

Мукумова Гульвар Жумаевна
доктор химических наук, доцент
Бегжанова Даврона Жумазаровича
доктор химических наук, профессор

Ведущая организация:

Бухарский государственный университет

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2025 г. в «_____» часов на заседании Научного совета DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 при Термезском государственном университете по адресу: 190111, Сурхандарьинская область, г, Термез, ул. Баркамол авлод 43. Тел.: (+99876) 221-74-55, факс: (+99876) 221-71-17, e-mail: termizdu@umail.uz.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре в Термезском государственном университете под №_____. с которой можно ознакомиться в ИРЦ (190111, Сурхандарьинская область, г, Термез, ул. Баркамол авлод 43. Тел.: (+99876) 221-74-55), факс: (+99876) 221-71-17), e-mail: termizdu@umail.uz).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2025 г.

(протокол рассылки № _____ от «__» _____ 2025 г.

И.А.Умбаров

Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.х.н., профессор

Ш.А. Касимов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.х.н., профессор

Г.Ж. Мукумова

Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, д.х.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Оптические свойства нелинейных оптических материалов, в частности, такие свойства, как термостойкость и воспроизводимость, могут быть значительно улучшены с помощью металлокомплексов. Также существует возможность снижения токсичности металла или лиганда путем получения комплексных соединений, что становится одним из актуальных направлений системных исследований по синтезу металлокомплексов токсичных металлов и органических соединений.

Из мировых научных источников известно, что лиганды, содержащие донорные атомы азота и кислорода, обладают большим потенциалом в синтезе металлокомплексов. Строение и свойства координационных соединений, образованных переходными металлами с этими лигандами, зависят от используемого металла, химических свойств лигандов, их количества, температуры синтеза и ряда других факторов. Хотя структура и свойства многих комплексных соединений до сих пор изучены, научные исследования по снижению токсичности и повышению биологической активности биологически активных веществ путем получения их комплексов с металлами относительно редки в литературе.

Данное диссертационное исследование вносит свой вклад в реализацию задач, определенных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-4265 от 3 апреля 2019 года "О дальнейшем реформировании и повышении инвестиционной привлекательности химической промышленности," № ПП-4805 от 12 августа 2020 года "О мерах по повышению качества непрерывного образования и научной результативности в области химии и биологии," № ПП-4992 от 13 февраля 2021 года "О мерах по дальнейшему реформированию, финансовому оздоровлению предприятий химической промышленности и развитию производства химической продукции с высокой добавленной стоимостью," а также в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года "О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы" и других соответствующих нормативно-правовых документах.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан VII "Химические технологии и нанотехнологии."

Степень изученности проблемы. В ведущих научных центрах мира проведены многочисленные исследования по синтезу нелинейных оптических материалов с лигандами, содержащими донорные атомы азота и кислорода, определению их пространственной структуры и биологической активности. В частности, такими учеными мира, как S.Jaumeer-Laulloo, V.Veena, S.Kezo, K.R.Reddy, H.Saxena, W.Kaminsky, M.R.Kollipara, E.Xatiwora, G.Puranik, D.Darmadhikar, A.Adebomi, O.Gabriel, а также в масштабах стран СНГ научными группами и школами ученых под

руководством Е.В. Антипова, А.П. Гуля, Н.Т. Л.М. Шарковой, Н.Ф. Кучеровой, Г.Н. Артеменко, Кузнецова, В.И. Пехнко.

В нашей стране исследования по синтезу, строению и свойствам комплексных соединений проводились академиками Н.А. Парпиевым, Б.Т. Ибрагимовым, профессорами Х.Х. Хакимовым, Х.Т. Шариповым, О.Ф. Ходжаевым, Т.А. Азизовым, Х.Х. Тураевым, Ш.А. Кадировой, З.Ч. Кадировой, Ш.Ш. Даминовой, А.Б. Ибрагимовым, Ж.М. Ашуровым, Ш.А. Касимовым и другими учеными.

Согласно анализу Кембриджской международной кристаллографической базы данных (Cambridge Crystallographic Data Center, CCDC-2025), на сегодняшний день синтез новых комплексных соединений на основе лигандов, содержащих донорные атомы азота и кислорода, определение их физико-химических свойств и изучение их биологической активности имеет большое научное и практическое значение.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан в рамках Государственной научно-технической программы на 2022-2026 годы (фундаментальный проект No F3-20200929348).

Цель исследования. Целью исследования является синтез новых комплексов хлоридов и бромидных солей Sn (II) и Sn (IV) с азот- и кислородсодержащими лигандами, такими как пиридин-4-илметанамин 4-метилхинолином, определение их кристаллической структуры и изучение нелинейных оптических свойств.

Задачи исследования: Синтез комплексных соединений лигандов, содержащих донорные атомы азота и кислорода, с хлоридами и бромидными Sn (II) и Sn (IV) и получение их монокристаллов;

анализ структуры, состава и физико-химических свойств комплексных соединений с помощью современных методов исследования;

определение термической устойчивости вновь синтезированных комплексных соединений;

расчет квантово-химическими методами реакционной способности, энергии взаимодействия и электронной структуры комплексных соединений с хлоридами и бромидными Sn (II) и Sn (IV) лигандов, содержащих донорные атомы азота и кислорода; изучение оптической активности синтезированных комплексных соединений.

Объект исследования: Комплексные соединения ионов хлорида и бромида Sn (II) и Sn (IV) с биоактивными лигандами, содержащими донорные атомы азота и кислорода.

Предмет исследования: Синтез комплексных соединений оптически активных лигандов с солями металлов, содержащих донорные атомы азота и кислорода, кристаллическая структура, квантово-химические параметры, энергия межмолекулярного взаимодействия, физико-химические и биологические свойства.

Методы исследования. Для определения состава и структуры новых комплексных соединений использовались методы рентгеноструктурного анализа (РСА), элементного анализа, УФ- и ИК-спектроскопии, термического (ТГ и ДТА) анализа, Z-scan оптического анализа, квантово-химического расчета и определения оптической активности.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Впервые синтезировано 10 новых смешаннолигандных комплексных соединений хлоридных и бромидных солей Sn (II) и Sn (IV) с азот- и кислородсодержащими лигандами, такими как пиридин-4-илметанамином, 4-метилхинолином и получены их монокристаллы;

Изучены состав, структура и закономерности координации ионов металлов с донорными атомами лиганда комплексных соединений, полученных с помощью рентгеноструктурного анализа;

В результате анализа поверхности Хиршфельда определена доля эффектов N...N, N...C/C...N, O...N/N...O в синтезированных комплексных соединениях и энергии межмолекулярных взаимодействий в кристаллах;

При изучении нелинейных оптических свойств синтезированных веществ установлено, что комплексы металлов обладают высокой нелинейной оптической активностью и сниженной токсичностью по отношению к лиганду.

Практические результаты исследования:

Определены оптимальные условия синтеза смешанных комплексных соединений хлоридных и бромидных катионов Sn (II) и Sn (IV) с лигандами, содержащими донорные атомы азота и кислорода;

Установлено, что комплексные соединения, содержащие ионы Sn (II) и Sn (IV), могут быть использованы в качестве полупроводников, повышают их устойчивость к абиотическим и биотическим факторам, а также могут быть использованы в физических устройствах, которые дают высокие результаты при низкой энергии.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается подтверждением состава, строения и свойств синтезированных комплексных соединений методами элементного анализа, РСА, УФ- и ИК-спектроскопии, термического и кондуктометрического анализов, а также квантово-химическими методами расчета, публикацией результатов экспериментов в рецензируемых международных и отечественных научных журналах.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в синтезе новых комплексных соединений ионов хлоридов и бромидов Sn (II) и Sn (IV) с лигандами, содержащими донорные атомы азота и кислорода, выделении их монокристаллов, определении их кристаллических структур, энергий межмолекулярных взаимодействий и квантово-химических параметров, а также изучении их физико-химических свойств с помощью современных методов анализа.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что кристаллографические данные комплексных соединений СП-05, СП06 и МП-03 МП-04 внесены в Кембриджскую базу кристаллографических данных (CCDC). Использование этих данных поможет синтезировать аналогичные комплексные соединения, описать их структуру, повысить качество и эффективность солнечных панелей.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных результатов по структуре и оптическим свойствам новых комплексов, синтезированных в рамках диссертации:

Результаты рентгеноструктурного анализа комплексов SP-05, SP06 и MP-05 MP-06 включены в Кембриджский базу кристаллографических данных (депоненты CCDC: 2333700, 2333701, 2298491, 2298492). Полученные данные позволили исследователям использовать их при синтезе и исследовании структуры аналогичных соединений;

В рамках Государственной научно-технической программы на 2022-2026 годы (фундаментальный проект № Ф3-20200929348) в Институте общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан (Поступление в УзФА от 31 октября 2024 г. № 4/1255-2428).

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были представлены и обсуждены на 14, в том числе 7 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 5 в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) (3 в республиканских и 2 в зарубежных научных журналах).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет _____ страниц.

Основное содержание диссертации

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

В **первой главе** диссертации "Комплексные соединения лигандов, содержащих донорные атомы азота и кислорода, с переходными металлами" представлен анализ литературы по синтезу, молекулярной и кристаллической структуре, физико-химическим свойствам и оптической активности комплексов металлов с азот- и кислородсодержащими лигандами. Результаты анализа показали, что атомы кислорода в азотной и гидроксильной группах вызывают образование бидентантных комплексов с металлами.

Во второй главе диссертации "Объекты, процессы синтеза и методы исследования" описаны использованные в рамках исследования приборы, синтез комплексных соединений, примененные физические методы (спектроскопические методы, элементный анализ, термический анализ, РСА, анализ поверхности Хиршфельда и др.) и метод молекулярного докинга, приведены полученные практические результаты.

Синтез оптических материалов.

1.4 мл 4-метилкинолина (ароматическое гетероциклическое соединение) и 2 мл соляной кислоты смешивают в диэтиловом эфире (10 мл) при комнатной температуре, образуя раствор 4-метилкинолиний хлорида. Эта смесь нагревается до 60°C и выдерживается при этой температуре в течение 10 минут. В этом процессе происходит протонизация аминогруппы и связывание хлорид-аниона. После охлаждения 4-метилкинолиний хлорида выпадает из раствора в осадок (преципитация). Осадок промывают диэтиловым эфиром и получают в очищенном виде. Затем этот токсичный раствор переводят в этанол и готовят к следующему этапу. 0,118 г олова (Sn) растворяется в 5 мл 36,5%-ной соляной кислоты при комнатной температуре. Этот процесс занимает около 7 часов, так как реакция олова с кислотой протекает медленно. В результате реакции образуется хлорид олова (SnCl₂ или хлорид олова (II)), этот раствор используется на следующей стадии. К приготовленному раствору 4-метилкинолиний хлорида, растворенному в этаноле, медленно добавляют раствор хлорида олова. Эта смесь постоянно перемешивается, обеспечивая протекание реакции при комнатной температуре. В результате реакции может образоваться комплекс или новое соединение между 4-метилкинолиний хлоридом и SnCl₂, но поскольку в схеме не указан конкретный продукт, этот процесс рассматривается как дальнейшая модификация прекурсора. Если конечный продукт выходит в виде кристаллов, его отделяют охлаждением и фильтрованием. Название продукта: Бис (4-метилхинолиний) гексахлоростаннат (IV)

Схема

реакции:

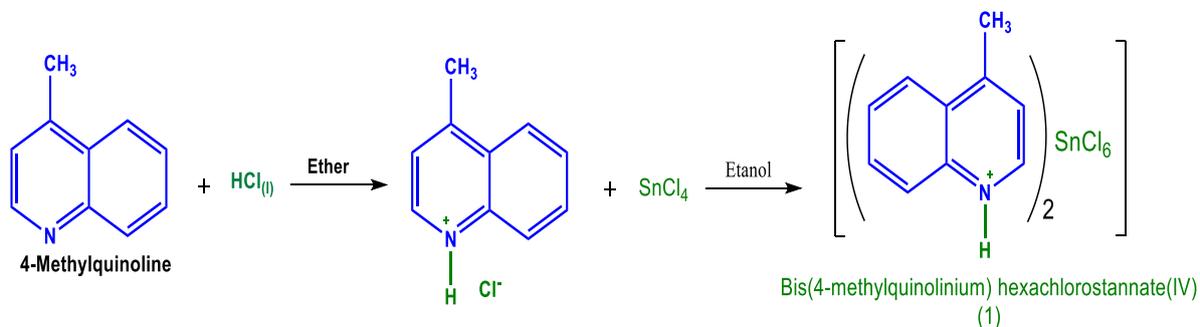


Таблица-1.

Элементный анализ состава полученных комплексных соединений

Комплексное соединение	Структура	Молекулярная масса (г/моль)	С % Рассчитано: (практический) :	Н % Рассчитано: (практический) :	Н % Рассчитано: (практический) :
SP-05	$C_{12}H_{20}Cl_8N_4Sn$	622.65	23.15 (23.10)	3.24 (3.19)	8.99 (8.82)
SP-06	$C_{12}H_{20}N_4Br_8Sn$	978.29	14.73(14.69)	2.06(2.04)	5.73 (5.68)
MP-05	$C_{12}H_{32}Cl_8N_4O_2Sn$	666.74	21.6 (21.02)	4.84 (4.79)	8.4(8.36)
MP-06	$C_6H_{20}Br_6N_2O_3Sn$	766.38	30.73 (30.02)	2.63 (2.58)	3.66 (3.62)
AD-21	$C_{14}H_{16}O_2Br_6SnN_2$	842.42	19.96 (19.92)	1.91 (1.87)	3.33(3.26)
AD-27	$C_{12}H_{10}Cl_8N_4Sn$	612.57	23.53 (23.48)	1.65 (1.62)	9.15 (9.11)
AD-28	$C_{12}H_{20}Br_8N_4Sn$	978.26	14.73 (14.69)	2.06 (2.01)	5.73 (5.68)

В третьей главе диссертации, озаглавленной "Кристаллические структуры и физико-химические свойства полученных комплексных соединений," вновь синтезированные комплексные соединения металлов были проанализированы методами РСА, УФ-, ИК-спектроскопии, термического и кондуктометрического анализа. Определены кристаллическая структура и физико-химические свойства комплексов, приведены данные.

В кристаллической структуре длины связи Sn-Cl варьируются от 2,4176 (5) Å до 2,4398 (5) Å, что указывает на одинаковую среду связи вокруг атома олова. Углы связи Cl-Sn-Cl варьируются от 87,73° до 92,27°, что отражает небольшое отклонение от идеальной октаэдрической геометрии. Соединение обладает широким спектром водородных взаимодействий, что вносит существенный вклад в его стабильность и структурную организацию. Атом Sn имеет шесть координат и образует квазирегулярный октаэдрический порядок. Эта координационная геометрия стабилизируется окружающими хлорид-ионами, которые вместе с водородными связями образуют прочную трехмерную сетку в кристаллической решетке. Практически правильная октаэдрическая конфигурация аниона $SnCl_6^{2-}$ в сочетании с широкими водородными связями указывает на сложное равновесие сил, определяющее структурные особенности этого соединения.

Таблица-2.

ИК-спектр синтезированных комплексов (см⁻¹)

Комплексные соединения	N-H или O-H	C-O или S=O	C-N или C=S	M-O или M-N
SP-05	3359, 3170	1024	1298, 1181	525

<u>SP-06</u>	3449, 3294	1411	1269	516
<u>MP-05</u>	3308.62	1650, 1471	1269.94	687.18, 443.49
<u>MP-06</u>	3480.30	1471.76	1161.07	637, 487, 427.
<u>ADI-27</u>	3336.76	1548, 1392, 1329.	884.79, 791.04	679.32, 512.64
<u>ADI-28</u>	3389.41, 3180.35	1421, 1246.	791.04	559.70, 685.58
<u>ADI-21</u>	2874.30	1404.44	—	644.85

Таблица-3.

Кристаллографические данные синтезированных комплексных соединений

Комплексные соединения	Mr (г/моль)	Сингония	Прост. группа	a (Å)	b (Å)	c (Å)	α°	β°	γ°	V(Å ³)
<u>SP-05</u>	610.48	Тетрагональная	I41/a	12.36	12.36	19.35	90	90	90	2955
<u>SP-06</u>	605.55	Орторомбическая	Pbca	13,20	8,75	22,91	90	90	90	2650
<u>MP-05</u>	536.87	Моноклинная	P21/c	5,47	22,56	7,64	90	92	90	944,0
<u>MP-06</u>	1188.8	Моноклинная	P21/n	17.42	8,9	19.2	90	96	90	2983
<u>ADI-27</u>	469.32	Моноклинная	C2/c	20.7	6.44	13.5	90	106	90	1736
<u>ADI-28</u>	587.49	Моноклинная	P21/n	11.36	8.68	13.01	90	109	90	1208
<u>ADI-21</u>	842.44	Моноклинная	C2/c	17.52 35(5)	7.651 7(2)	17.41 03(5)	90	99.4 115 (12)	90	2303. 03(11)
<u>ADI-22</u>		Моноклинная	C2/c	17.51 38(15)	7.657 6(7)	17.41 90(15)	90	99.4 99(4)	90	2304. 1(4)
<u>ADI-24</u>	368.67	Триклинная	P-1	7.19	10.33	10.63	112	96	110	654.3

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

Для рентгеноструктурного анализа успешно подготовлены монокристаллы бис ((пиридин-1-иум-4-ил) метанамия) гексагалостанната (IV) дихлорида (1) и бис ((пиридин-1-иум-4-ил) метанамия) гексагалостанната (IV) дибромида (2). Это было достигнуто путем постепенного выпаривания растворов этанола, содержащих реакционную смесь при определенной температуре. Полученные кристаллы обладали структурной целостностью и чистотой, необходимыми для рентгеноструктурного анализа характеристиками. В таблице 1 представлены кристаллографические данные, включая параметры сбора и определения данных, а также результаты анализа соединений. Кроме того, в таблицах S1 и S2 приведен полный список длин связей, углов связей и двугранных углов для дальнейшего уточнения структур.

В частности, атом водорода Н (2А) участвует во взаимодействиях трехцентровой водородной связи с тремя атомами хлора. Эти взаимодействия

включают N (2) \cdots Cl (1), N (2) \cdots Cl (2) и N (2) \cdots Cl (3), которые составляют расстояния 3,477 (4) Å, 3,575 (1) Å и 3,324 (2) Å соответственно. Эта сложная сеть водородных связей вносит значительный вклад в стабильность и структурную целостность соединения. Трёхцентровая водородная связь с участием атома Н (2А) демонстрирует сложный, но устойчивый вид взаимодействия, который помогает поддерживать кристаллическую решётку в целом. Эта сложная сеть водородных связей вносит значительный вклад в стабильность и структурную целостность соединения. Трёхцентровая водородная связь с участием атома Н (2А) демонстрирует сложную, но устойчивую схему взаимодействия, которая помогает удерживать кристаллическую решётку вместе.

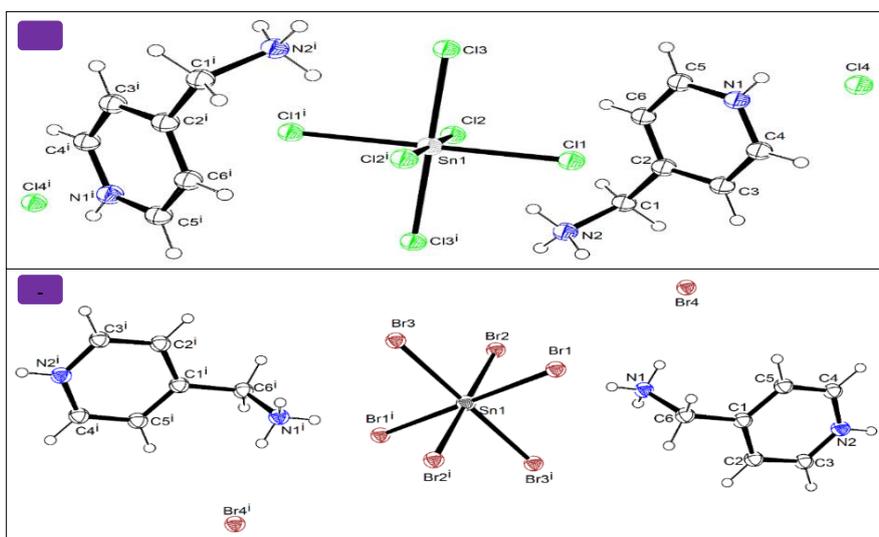


Рисунок 1 График эллипсоида перемещения (а) (1) и (b) (2) (с вероятностью 35%).

Таблица-4.

Для выбранных длин связей (Å), углов (°) и диэдральных углов (°) (1).

Связь	дистанция [Å]	Связь	дистанция [Å]
C(1)-N(2)	1.485(2)	C(5)-N(1)	1.330(2)
C(1)-C(2)	1.508(2)	C(5)-C(6)	1.372(2)
C(2)-C(6)	1.383(2)	Cl(1)-Sn(1)	2.4397(4)
C(2)-C(3)	1.390(2)	Cl(2)-Sn(1)	2.4292(4)
C(3)-C(4)	1.375(2)	Cl(3)-Sn(1)	2.4176(4)
C(4)-N(1)	1.334(2)		

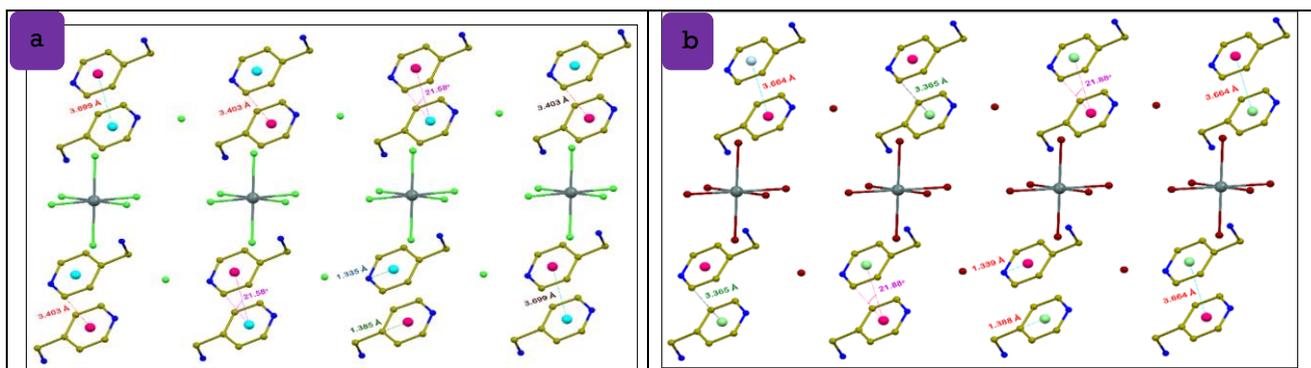


Рисунок 2 . Молекулярное множество с $\pi\cdots\pi$ взаимодействиями (а) (1) и (б) (2) (для определенности все атомы водорода опущены).

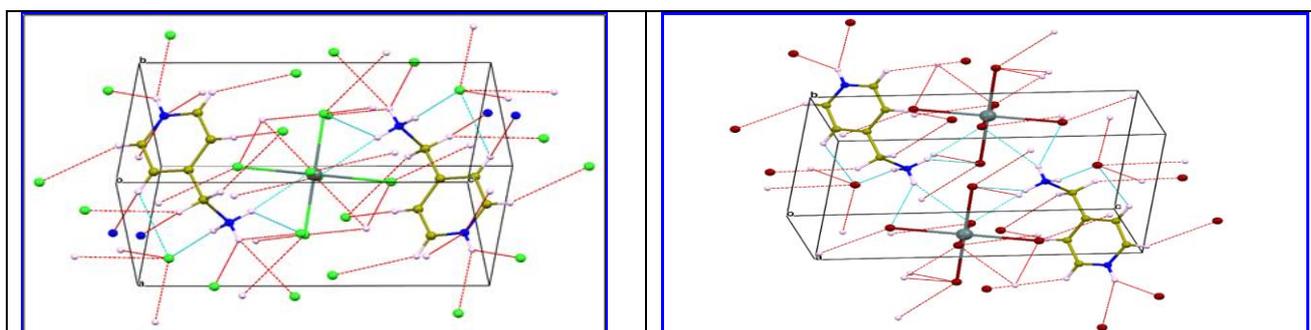


Рисунок 3 Расположение соединений 1 и 2 в кристаллической упаковке

Таблица-5 Водородная связь (1) и (2) [Å и $^\circ$].

Преобразования симметрии используются для образования эквивалентных атомов.

D-H \cdots A	d(D-H)	d(H \cdots A)	d(D \cdots A)	\angle (DHA)
(1)				
N(1)-H(1) \cdots Cl(4)	0.86(1)	2.49(2)	3.165(2)	136(2)
N(1)-H(1) \cdots Cl(4)	0.86(1)	2.57(2)	3.208(1)	132(2)
N(2)-H(2A) \cdots Cl(1)	0.88(2)	2.75(2)	3.477(4)	140(2)
N(2)-H(2A) \cdots Cl(2)	0.88(2)	2.89(2)	3.575(1)	136(2)
N(2)-H(2A) \cdots Cl(3)	0.88(2)	2.69(2)	3.324(2)	129(2)
N(2)-H(2B) \cdots Cl(2)	0.90(2)	2.43(2)	3.305(2)	165(2)
C(6)-H(6) \cdots Cl(3)	0.93	2.7567	3.651(2)	161.5
(2)				
C(2)-H(2) \cdots Br(3)#1	0.95	2.84	3.771(5)	165.9
C(3)-H(3) \cdots Br(2)#2	0.95	3.05	3.759(5)	132.9
C(3)-H(3) \cdots Br(4)#2	0.95	2.94	3.481(5)	117.8
C(4)-H(4) \cdots Br(1)#3	0.95	3.00	3.809(5)	143.3
N(1)-H(1A) \cdots Br(2)#5	0.858(18)	2.58(2)	3.411(4)	164(4)
N(1)-H(1B) \cdots Br(1)	0.854(18)	2.80(3)	3.540(4)	146(5)
N(1)-H(1B) \cdots Br(2)	0.854(18)	3.05(5)	3.703(4)	135(5)
N(1)-H(1C) \cdots Br(4)	0.850(19)	2.40(2)	3.227(4)	164(5)

#1 -x+2,-y+1,-z+1 #2
x+1,y-1,z, #3 -x+1,-y+1,-
z+2 #4 -x+1,-y,-z+2 #5 -
x+1,-y+1,-z+1

**SP-05 и SP-06 Анализ
порошковой
рентгеновской
дифракции**

Рисунок 1 показывает сравнение между моделируемыми и экспериментальными линиями XRD, где наблюдается идеальное соответствие

В положении вершин. Это соответствие подтверждает однородность

синтезированных образцов и чистоту общей фазы, что также подчеркивается в источнике. Различия в относительных интенсивностях пиков могут быть объяснены тем, что образец имеет определенное направление в процессе измерения дифрактограммы. Наличие острых и высокоинтенсивных пиков в экспериментальном рисунке еще раз подтверждает высокую кристалличность синтезированных комплексов. Совпадение позиций пиков в моделируемых и экспериментальных данных свидетельствует о надежности метода синтеза и структурной целостности соединений. Такая высокая степень кристалличности свидетельствует о хорошо упорядоченных молекулярных порядках в сыпучем материале. На рисунке 3.3.1 представлен сравнительный анализ пиков экспериментальной и моделируемой рентгеновской дифракции (РД), который показывает сильную корреляцию в позициях пика. Это близкое совпадение наглядно доказывает успешный синтез целевой кристаллической фазы и подтверждает чистоту фазы массовых материалов. Небольшие различия в относительной интенсивности некоторых пиков, вероятно, связаны с предпочтительными кристаллографическими ориентационными эффектами в процессе приготовления и измерения образцов. Наличие в экспериментальных данных четко очерченных дифракционных пиков указывает на высокую степень кристалличности, что означает, что внутренняя структура синтезированных комплексов очень упорядочена. Соответствие между экспериментальными и моделируемыми узорами не только подтверждает правильность структурной модели, используемой для моделирования, но и отражает надежность и повторяемость применяемого процесса синтеза.

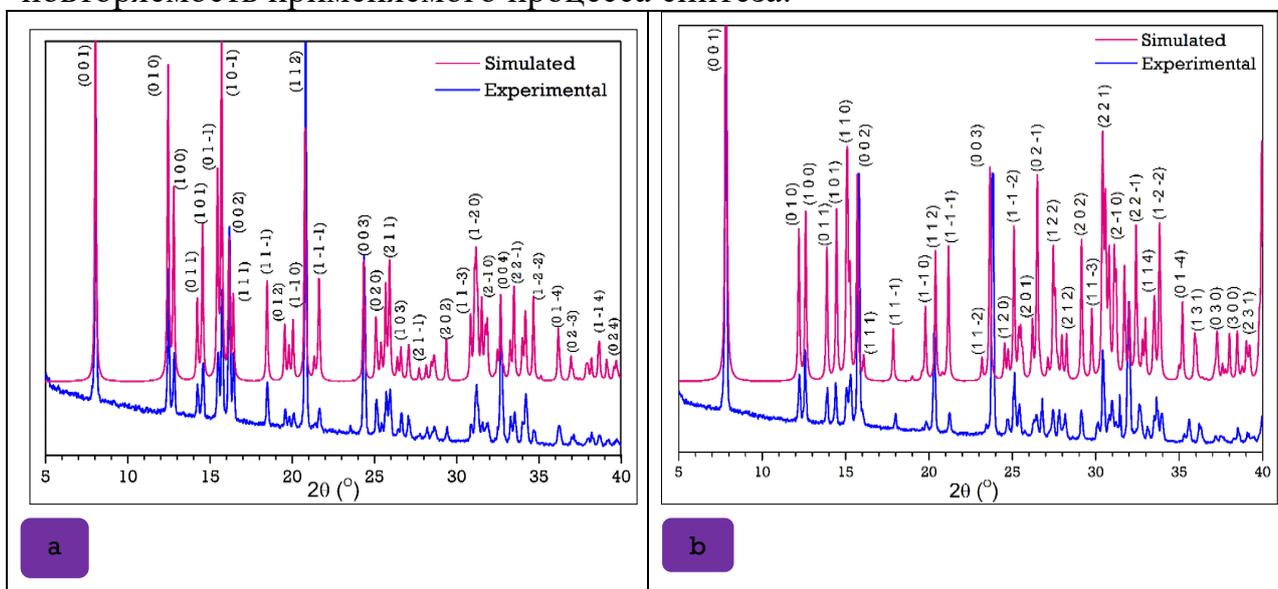


Рис. 4 Моделированные и экспериментальные модели РСА (а) (1) и (б) (2).

SP-05 и SP-06 Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)

В РФА-спектрах обнаружены пики, характерные для олова, хлора и брома, которые указывают на анионы SnCl_6^{2-} и SnBr_6^{2-} в этих соединениях. Энергетические пики каждого элемента зависят от их атомной структуры и специфических энергетических переходов в процессе РФА. В соединении (1) наблюдаются пики, связанные с оловом и хлором (рис. С6). Интенсивность

этих пиков пропорциональна концентрации каждого элемента. В частности, олово проявляет рентгеновское излучение в диапазоне 20-25 кэВ, связанное с его линиями $K\alpha$ и $K\beta$, в то время как хлор испускает излучение в основном в диапазоне 2,5-3,0 кэВ от линии $K\alpha$. Бром в основном излучает рентгеновские лучи в диапазоне 11-15 кэВ благодаря линиям $K\alpha$ и $K\beta$ (рис. С7). Эти энергетические интервалы отражают характерные рентгеновские лучи, которые возникают, когда атомы возбуждаются падающими рентгеновскими лучами. Этот процесс приводит к переходам между энергетическими уровнями и испусканию рентгеновского излучения на определенных длинах волн. Сильные пики в спектрах указывают на высокие концентрации соответствующих элементов [30,31]. Сильные пики в спектрах указывают на высокую концентрацию соответствующих элементов. [30,31].

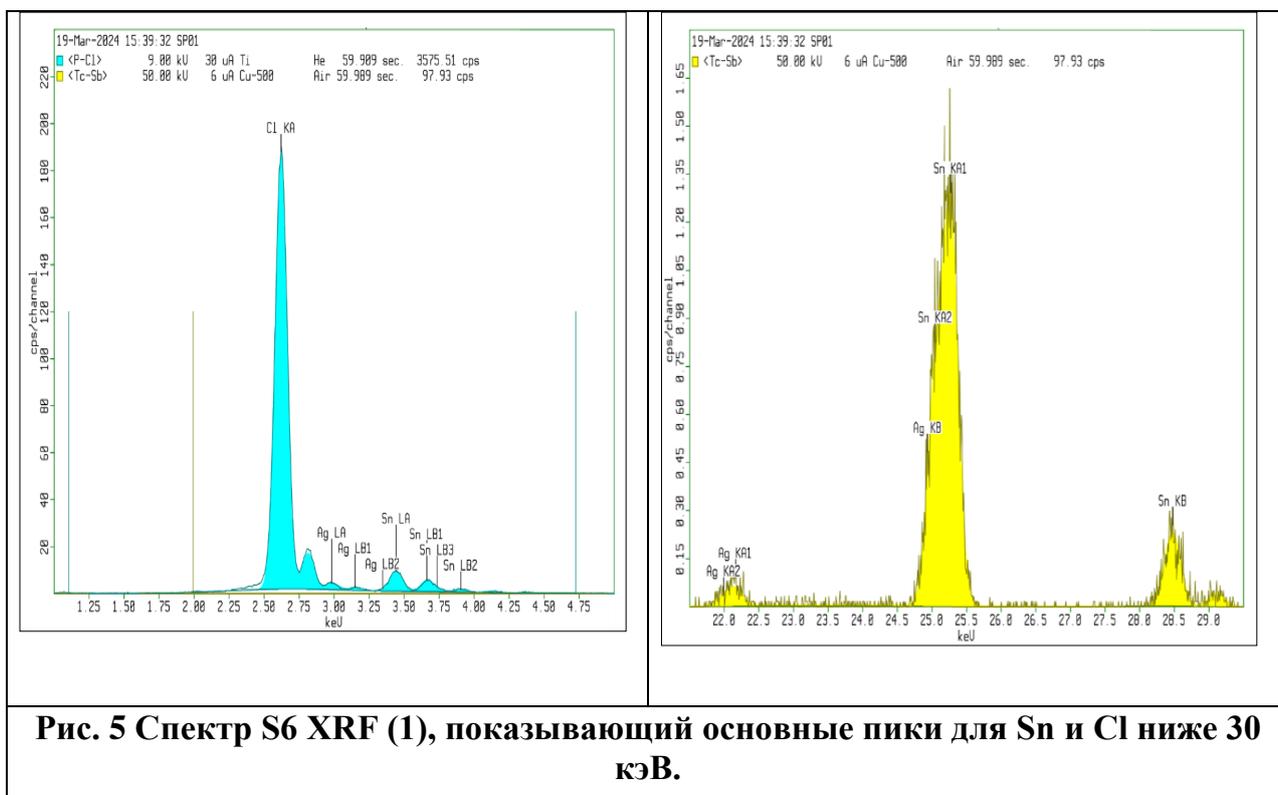


Рис. 5 Спектр S6 XRF (1), показывающий основные пики для Sn и Cl ниже 30 кэВ.

Кинетические параметры процесса распада нелинейных оптических материалов Кинетика разложения оптического соединения МР-03 основана на энергии активации, скорости реакции, степени конверсии и температурном воздействии. Кинетические параметры изучались методами Фримена-Кэрролла, Шарпа-Уэнтворта, Ахара и модифицированной непараметрической кинетики (НРК). Результаты кинетического анализа связаны с молекулярной структурой, энергия активации рассчитывалась в диапазоне температур 20-700°C.

Известно, что степень распада твердой частицы можно выразить следующим уравнением

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(1 - \alpha)^n,$$

где α - степень разложения вещества (рассчитанная по следующему уравнению); n - порядок реакции; k - константа скорости реакции, уравнение Аррениуса (3) [97; 1033-1038].

$$\alpha = \frac{W_0 - W_t}{W_0 - W_\infty},$$

где W_0 - начальная масса образца; W_t - масса образца за период времени t , W_∞ - масса образца после термического разложения.

$$k = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right).$$

Подставляя уравнение (3) в уравнение (1), получаем зависимость (4).

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) f(\alpha).$$

4) поскольку правая часть уравнения не может быть решена аналитически, на практике используются различные приближенные методы.

Метод Фримана и Кэрролла. Порядок реакции n и энергия активации реакции E рассчитываются с помощью уравнения.

$$\frac{-\left(\frac{E}{R}\right)\Delta\left(\frac{1}{T}\right)}{\Delta \log W_r} = -n + \frac{\Delta \log\left(\frac{dw}{dt}\right)}{\Delta \log W_r},$$

где $W_r = W_c - W$, W_c - максимальная потеря массы; W - общая потеря массы в момент времени t .

Метод Шарпа и Уентворта

$$\frac{\Delta \log\left(\frac{dc}{dt}\right)}{1-c} = \log \frac{A}{\beta} - \frac{E}{RT},$$

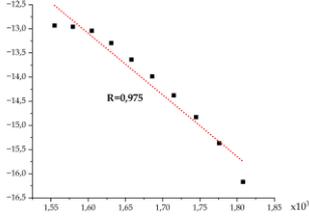
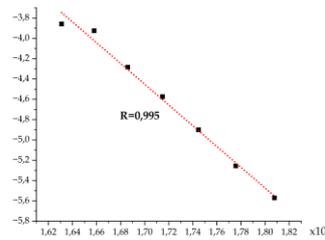
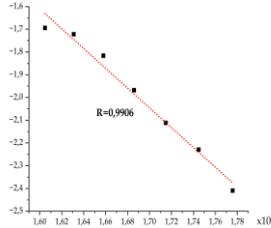
где c - массовая доля пробы, прореагировавшей за время t ;

β - скорость нагрева

Метод Ахары

$$\log\left[\frac{1}{f(\alpha)} \frac{d\alpha}{dt}\right] = \log \frac{A}{\beta} + \frac{E}{RT},$$

где α - массовая доля образца, прореагировавшего за время t , и β - скорость нагрева. Нарисова левую часть уравнения как функцию $1/T$, мы получаем прямую линию, по которой мы можем определить E и A . Форма $f(\alpha)$ зависит от природы реакции.

		
<p>• MP-03.AHARA METODI</p>	<p>MP-03.FRIMEN KEROL USULI.</p>	<p>MP-03.SHARP-WENTWORD.</p>

MP-04 КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)	T (°C)	T (K)
280	553.15	281	554.15	282	555.15	283	556.15	284	557.15
290	563.15	6.83574	0.98337253	6.6593E-05	-4.1765744	-4.0966988	-9.616918	-12.683859	0.00177573
300	573.15	6.65008	0.98403845	0.00010084	-3.9963856	-4.1375726	-9.2020179	-12.718385	0.00174474
310	583.15	6.36895	0.98504681	0.00013225	-3.8786196	-4.2028305	-8.9308517	-12.751955	0.00171482
320	593.15	6.00025	0.98636926	0.00018411	-3.734913	-4.2954278	-8.5999551	-12.784619	0.00168591
330	603.15	5.48694	0.9882104	0.00026103	-3.5833106	-4.4405376	-8.2508775	-12.816191	0.00165796
340	613.15	4.75919	0.9908207	0.00032439	-3.488937	-4.6908039	-8.0335744	-12.846441	0.00163092
350	623.15	3.8548	0.99406456	0.00034582	-3.4611455	-5.1268145	-7.9695819	-12.875528	0.00160475
360	633.15	2.890644	0.9975228	0.00020662	-3.684822	-6.0006255	-8.4846163	-12.903895	0.0015794
370	643.15	2.31458	0.99958902	4.1098E-05	-4.386184	-7.7969767	-10.099562	-12.933167	0.00155485
380	653.15	2.2	1	0.00153104	-2.8150129	#ЧИСЛО!	-6.4818068	-12.963614	0.00153104

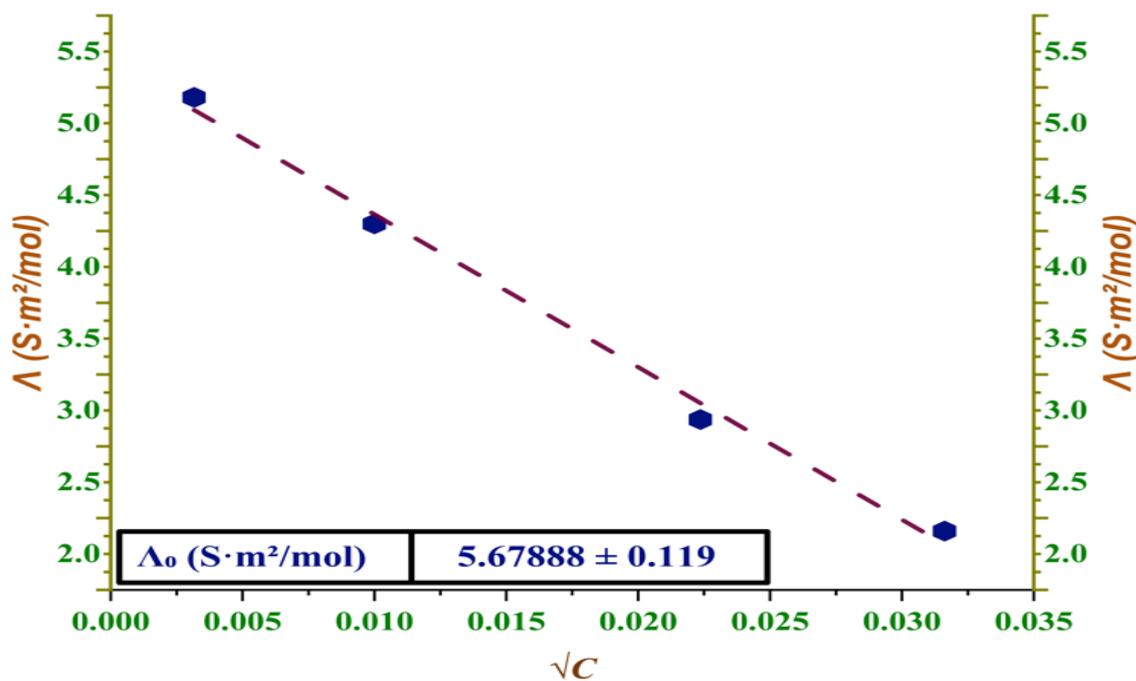


Рис 6 Зависимость молярной электропроводности от \sqrt{C} : определение значения Λ_m^0 помощью экстраполяции Кольрауша

ADI-23 Анализ SEM/EDS. Рисунок 8. S4 и S5 показывают морфологию поверхности соединений (1) и (2), исследованных с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Подробнее об обнаружении дефектов и морфологии поверхности СЭМ-микрофотографии используются для присвоения импульсов. У обоих гибридов наблюдается неравномерное расположение пористых частиц и шероховатые поверхности.

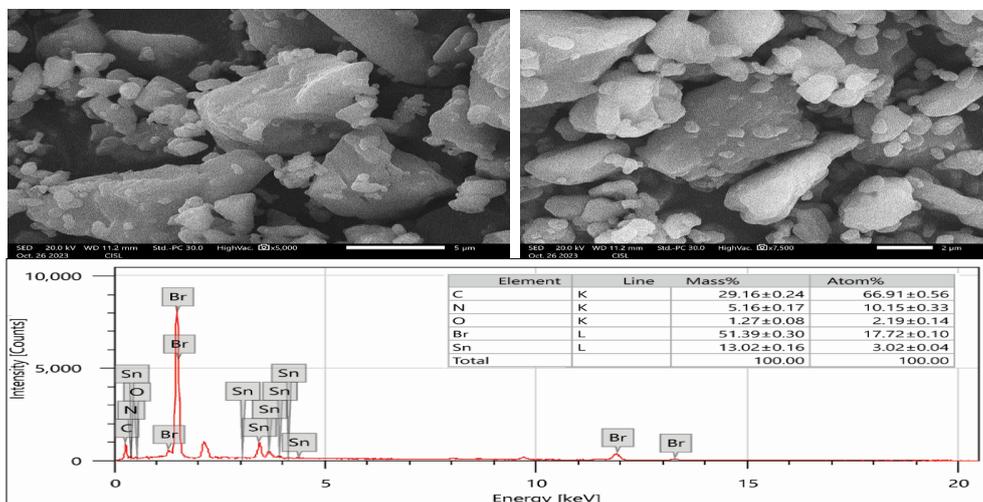


Рис 7 S5 SEM-изображения (сверху) и EDS-спектры (снизу) соединения (2).

Для соединения (1) была определена энергия рентгеновских лучей углерода, азота, олова и хлора, энергия составляла примерно 0,27 кэВ для углерода, 0,39 кэВ для азота, 3,50 кэВ для олова и 2,80 кэВ для хлора. Для соединения (2) была определена энергия рентгеновских лучей углерода, азота, олова и хлора, энергия и составляла примерно 0,28 кэВ для углерода, 0,39 кэВ для азота, 0,53 кэВ для кислорода, 2,10 кэВ для олова и 1,50 кэВ для брома. Эти энергии соответствуют переходу энергетических уровней в атомах, в результате чего испускаются рентгеновские лучи определенной длины. Таким образом, анализ ЭДС позволяет выявить и количественно оценить элементы, присутствующие в соединениях.

Анализ поверхности Хиршфельда полученных комплексных соединений

С помощью распределения электронной плотности поверхности Хиршфельда можно анализировать взаимодействия молекул. Поверхность помогает определить межмолекулярные взаимодействия в кристаллах, а 2D-отпечатки пальцев помогают провести количественный анализ взаимодействий. Этот анализ дает важную информацию о природе и силе взаимодействий в кристаллах. С помощью Crystal Explorer 17.5 были проанализированы межмолекулярные взаимодействия внутри кристаллов комплексов и получено визуальное изображение распределения электронной плотности (см. *Таблица 4.1*)

Таблица 4.1

Свойства поверхности Хиршфельда комплексов

Комплекс	H...N/N... H (%)	C...H/ H...C (%)	O...H/ H...O (%)	H...G\G... H (%)	H...H(%)	G...G(%)	C...C(%)
SP-05	19	5.6	-	67.6	6.2	4.8	0.7
SP-06	0.4	5.2	-	62.6	16.4	6.1	0.9
ADI-27	1.4	8.5	-	65	15.3	2.3	0.5
ADI-28	1.5	7.5	-	67.6	12.3	3.2	1.2
MP-05	0.5	3.8	5.3	64.6	27.9	0.8	3
MP-06	0.7	6.1	11	66.4	15.6	7	1
ADI-21	2.3	4.1	6.7	63.5	12.4	1.6	0.9
ADI-22	1.7	5.9	7.4	67.1	16.7	2.6	1.4

ADI-23	0.6	4.5	-	63.1	8.6	9.9	0.9
ADI-24	1.4	6.7	-	68.3	15.2	0.8	0.6

Методика Z-сканирования.

SP-05;SP-06 Z-SCAN сведения.

На графике видно, что при $Z = 0$ нормализованная трансмиссия уменьшается, а затем увеличивается с обеих сторон. Это указывает на нелинейное поглощение, возможно, вследствие двухфотонного поглощения (ДФП) или насыщенного поглощения. Падение при $Z = 0$ (точка фокусировки) указывает на то, что материал поглощает больше света при

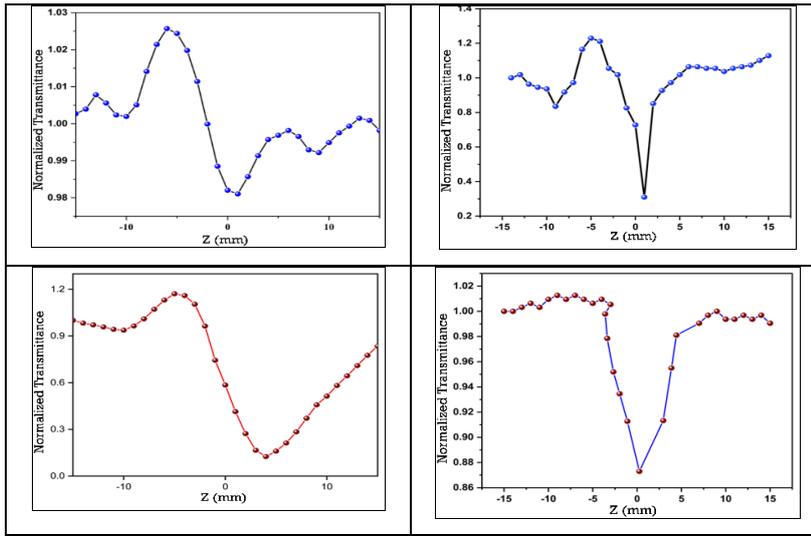


Рис. 8 Кривые Z-сканирования для (1) (а и б) и (2) (в и г). Слева апертура закрыта, справа апертура открыта.

наибольшей интенсивности, что является признаком нелинейного поглощения. Передача падает до минимального значения (около 0.984) при $Z = 0$ и симметрично увеличивается при удалении образца от фокусной точки. На графике видны вершины и долины вокруг $Z = 0$, с колебаниями с обеих сторон. Форма пик-длина

указывает на нелинейное преломление, в частности, отрицательный индекс нелинейного преломления (самодифракция). Перед наступлением пика при переходе от отрицательного к положительному Z , длина показывает, что материал имеет отрицательный нелинейный индекс преломления $n_2 < 0$). Колебания могут указывать на интерференционные эффекты или нелинейность более высокого порядка, но основная структура пик-длина обусловлена нелинейным фазовым изменением, вызванным материалом. ΔT : Изменение в трансмиссии, нормализованное при $Z = 0$ (из графика открытой диафрагмы). Данные Z-сканирования всех оптических материалов представлены в Таблице 4.2.

Таблице 4.2

	$Re\chi^{(3)}$ (cm^2/W)	$Im\chi^{(3)}$ (cm/W)	$\chi^{(3)}$ (esu)
SP05	6.5143×10^{-10}	6.4971×10^{-9}	6.5297×10^{-9}
SP06	1.1971×10^{-9}	2.7828×10^{-8}	2.7853×10^{-8}
MP05	3.2040×10^{-11}	2.8050×10^{-9}	2.8052×10^{-9}
MP06	3.5192×10^{-11}	1.3864×10^{-8}	1.3864×10^{-8}
ADI21	6.7585×10^{-10}	1.9018×10^{-8}	1.9030×10^{-8}
ADI22	3.8619×10^{-10}	7.5457×10^{-8}	7.5458×10^{-8}
ADI27	3.2200×10^{-11}	2.9720×10^{-9}	2.9722×10^{-9}
ADI28	2.0446×10^{-11}	6.6741×10^{-9}	6.6741×10^{-9}

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Были синтезированы 10 новых комплексных соединений катионов Sn (II) с азот- и кислородсодержащими лигандами в соотношении Me:L = 1:1, 1:2, 1:4. и данные РСА всех комплексных соединений были внесены в международную Кембриджскую базу кристаллографических данных, а номера депозитов (2333700, 2333701, 2298491, 2298492, 2464496, 2464497).

2. Впервые методами рентгеноструктурного анализа, элементного анализа, УФ- и ИК-спектроскопии, кондуктометрического, термического анализа определены состав, строение, стабильность комплексов СП-05, СП-06, АДИ-27, АДИ-28, МП-05, МП-06.

3. Синтезированы новые комплексные соединения и супрамолекулярные соединения, образованные взаимодействием $\pi \cdots \pi$ стекинга атомов С-Н...О, О-Н...О и Br - О, Cl - N. 4.

4. При образовании комплексов SP-05 и SP-06 концентрация в соотношении 1:1 по сравнению с другими концентрациями имеет более высокую константу стабильности термодинамического равновесия, значения ΔG отрицательны из-за изменения температуры и концентрации, что подтверждает самообразование и стабильность комплекса.

5. Термический анализ показал, что термическая стабильность комплексных соединений связана с их кристаллической структурой. Исследование термодинамических параметров процесса разложения комплексных соединений MP-05 и MP-06 методами Фримена-Керралла, Шарпа-Уэнтворта, Ахара подтвердило высокую стабильность комплекса.

6. Квантово-химический анализ свойств синтезированных комплексов, а также поверхностный анализ Хиршфельда показали, что связи Н...Н, Н...О/О...Н и С...Н/Н...С влияют на структуру полученных комплексов.

7. Изучены нелинейные оптические свойства всех комплексных соединений, синтезированных методом Z-scan, и сопоставлены с литературными данными.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 AWARDED
SCIENTIFIC DEGREES AT TERMEZ STATE UNIVERSITY**

REPUBLIC OF UZBEKISTAN

ACADEMY OF SCIENCES KHOREZM MA'MUN ACADEMY

KADAMBAYEV PIRNAZAR KADAMBAYEVICH

**SYNTHESIS, STRUCTURE AND PROPERTIES OF NONLINEAR
OPTICAL MATERIALS SYNTHESIZED ON THE BASIS OF TIN**

02.00.01 - Inorganic Chemistry

02.00.04 - Physical Chemistry

**DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) IN CHEMISTRY ABSTRACT OF
DISSERTATION**

Termez – 2025

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) was registered in the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under No. B2025.1.PhD/K913.

The dissertation has been prepared at the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

Scientific supervisors: **Ibragimov Aziz Bakhtiyorovich**
doctor of chemical sciences, professor
Chellakurungu Balakrishnan
Doctor of Philosophy in Chemical
Sciences, Professor

Official opponents: **Mukumova Gulvar Jumayevna**
doctor of chemical sciences, associate
professor
Begzhanov Davron Zhumazarovich
doctor of chemical sciences, professor

Leading organization: **Bukhara State University**

The defense of the dissertation will be held at the meeting of the one-time Scientific Council based on the Scientific Council No. PhD. _____ at Termez State University on "___" _____ 2024, at _____. (Address: 190111, Termez city, Barkamol Avlod street, 43. Tel.: (+99876) 221-74-55, fax: (+99876) 221-71-17, e-mail: termizdu@umail.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of Termez State University (registered under No. ____). Address: 190111, Termez, Barkamol Avlod Street, 43. Tel.: (+99876) 221-74-55, fax: (+99876) 221-71-17, e-mail: termizdu@umail.uz).

The abstract of the dissertation was distributed on "___" _____ 2024.
(Protocol at the register No. ____ dated "___" _____ 2024).

I.A.Umbarov
Chairwoman of the Scientific Council for Award of
Academic Degrees, doctor of technical sciences,
professor
Sh.A.Kasimov
Scientific Secretary of the Scientific Council for
the Award of Academic Degrees, doctor of chemical
sciences, professor
G.J.Muqumova
Chairman of the Scientific Seminar of the
Scientific Council for Award of Academic Degrees,
doctor of chemical sciences, dotsent

INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy PhD dissertation)

The aim of the research Synthesis of mixed-ligand complex compounds of Sn (II) and Sn (IV) ions with nitrogen- and oxygen-containing ligands, pyridine-4-ylmethanamine with 4-methylquinolines, determination of their crystal structure and study of nonlinear optical properties.

The object of the study Complex compounds of Sn (II) and Sn (IV) ions with bioactive ligands containing donor atoms of nitrogen and oxygen

The scientific novelty of the research For the first time, nitrogen- and oxygen-containing ligands of Sn (II) and Sn (IV) ions, 10 new mixed-ligand complex compounds of pyridin-4-ylmethanamine with 4-methylquinoline were synthesized and their monocrystals were grown;

The composition, structure, and regularities of coordination of metal ions with ligand donor atoms of complex compounds obtained using X-ray structural analysis were determined;

As a result of Hirschfeld's surface analysis, the proportions of the effects of H...H, H...C/C...H, O...H/H...O in the synthesized complex compounds and the intermolecular interaction energies in the crystals were calculated;

When studying the nonlinear optical properties of the synthesized substances, it was found that the metal complexes have high nonlinear optical activity and a decrease in toxicity to the ligand.

Implementation of the research results. The scientific significance of the research results lies in the synthesis of new complex compounds of Sn (II) and Sn (IV) ions with ligands containing nitrogen and oxygen as donor atoms, the isolation of their single crystals, the determination of their crystal structures, intermolecular interaction energies, and quantum-chemical parameters, as well as the study of their physicochemical properties using modern methods of analysis.

The practical significance of the research results lies in the fact that the crystallographic data of the complex compounds SP-05, SP06, and MP-03 are included in the Cambridge Crystallographic Database (CCDC). The use of this data leads to the synthesis of similar complex compounds, the description of their structure, the creation and study of technologies for replacing and improving the properties of 3rd-generation solar cells based on perovskites and the development of low-cost solar panels in the Laboratory of Materials with Nonlinear Optical Properties. Including during 2022-2024.

The size and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The total volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLICATIONS

I bo'lim (часть; part I)

1.P.K.Kodamboev, I.I.Abdullayev, A.B.Ibragimov, Y.Y.Yakubov, N. Vijayan, C.Balakrishna Synthesis, structure, spectral and Hirshfeld surface analysis of bis ((pyridin-1-ium-4-yl)methanaminium) hexahalostannate(IV) dihaliden. Journal of Molecular Structure 1322(3):140546 DOI:10.1016/j.molstruc.2024.140546 November 2024. SCOPUS.

2.P.K.Kodamboev M. Prabakaran, B.T.Ibragimov, A. Raja, L. Gunganathan, A.B.Ibragimov, T.M. Almutairi, P. Suppuraj, N. Vijayan, C.Balakrishnan. Comprehensive analysis of bis(4-methylquinolinium) hexahalostannate (IV): Synthesis, spectral, structural and hirshfeld surface analysis. Journal of Molecular Structure 1325 (2025) 141061 DOI:10.1016/j.molstruc.2024.141061 SCOPUS.

3.P.K.Kodamboev, N. Vijayan, C. Balakrishnan, K.B.Kholturaev. Nonlinear optical (nlo) materials: synthesis, crystal structure and characterization of a new organic–inorganic hybrid material 4-(2-ammonioethyl)morpholin-4-ium hexachlorostannate(iv). Qo'qon davlat pedagogika instituti ilmiy xabarlari issn:3030-3958 №3/2025

4.P.K.Kodamboev, A.B.Ibragimov, C. Balakrishnan. Bis (4-metilxinoliniy) gekagalostannat (iv) ning kompleks tahlili: sintezi, strukturaviy va xirshfeld sirt tahlili O'zbekiston Kompozitsion Materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali ISSN 2091-5527 №1/2025.

5.P.K.Kodamboev, A.B.Ibragimov, C. Balakrishnan. Bis (4-metilxinoliniy) gekagalostannat (iv) ning kompleks tahlili: termik tahlili va sem/eds O'zbekiston Kompozitsion Materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali ISSN 2091-5527 №1/2025.

II bo'lim (II часть; part II)

6. P.K.Kodamboev, A.B.Ibragimov, C. Balakrishnan, E.Sh.Samandarov, Y.Y.Yakubov, Kh.Mukhammadaliev, Y.R.Khamraev, G.G.Omurzakova. Nonlinear optical properties and applications of 2d metal oxides. Достижения и перспективы супрамолекулярной химии материалы республиканской научно-практической конференции 2024-yil 15-may

7.P.K.Kodamboev, E.Sh.Samandarov. A.B.Ibragimov, C. Balakrishnan, Nonlinear optical studies of inorganic-organic hybrid semiconductors (r-c6h4-ch2-ch2-nh3)2рbi4 достижения и перспективы супрамолекулярной химии материалы республиканской научно-практической конференции 2024-yil 15-may

8.P.K.Kodamboev, A.B.Ibragimov, C. Balakrishnan, I.I.Abdullayev, Y.Y.Yakubov, Kh.Mukhammadaliev. State of the art of boron and tin complexes in second-and third order nonlinear optics. Urganch davlat universiteti "Kimyoning dolzarb muammolari" Mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari (2024-yil 21-22-iyun).

9.P.K.Kodamboev, A.B.Ibragimov, C. Balakrishnan, I.I.Abdullayev, Y.Y.Yakubov, Kh.Mukhammadaliev. Tin metal cluster compounds as new third-order nonlinear optical materials by computational study(nlo) urganch davlat universiteti “Kimyoning dolzarb muammolari” Mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari (2024-yil 21-22-iyun).

10.J.M.Rakhimov, P.K. Kodamboev, E.Sh.Samandarov, Kh.B.Rahkimov, I.I.Sharibov. Tin metal cluster compounds as new third-order nonlinear optical materials by computational study(nlo) urganch davlat universiteti “Kimyoning dolzarb muammolari” Mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari (2024-yil 21-22-iyun).

11.N. Vijayan, C. Balakrishnan, P.K. Kodamboev, E.Sh.Samandarov, A.B.Ibragimov. Monocrystal x-ray data of a new organic-inorganic hybrid material 4- (2-ammonioethyl) morpholin-4-ium hexachlorostannate (iv) Qo‘qon Davlat pedagogika Instituti “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” Qo‘qon-2024 2024-yil 22-may

12.П.К. Кодамбаев, Б.З.Адизов, Ч.Балакришнан. Структура новых супрамолекулярных комплексов на основе бис((пиридин-1-ий-4-ил)метанаминий)а Qo‘qon Davlat pedagogika Instituti “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” Qo‘qon-2024 2024-yil 22-may

13.N. Vijayan, C. Balakrishnan, P.K. Kodamboev, E.Sh.Samandarov, A.B.Ibragimov. Synthesis and structure new supramolecular complex bis((pyridin-1-ium-4-yl)methanaminium) hexahalostannate(iv) dichloride. Qo‘qon Davlat pedagogika Instituti “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” Qo‘qon-2024 2024-yil 22-may

14.P.K. Kodamboev, C. Balakrishnan, A.B.Ibragimov. Valence distances between elements participating in bond formation of optical material bis ((pyridin-1-ium-4-yl) methanaminium) hexagalostannate (iv) Qo‘qon Davlat pedagogika Instituti “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” Qo‘qon-2024 2024-yil 22-may

15. P.K. Kodamboev, N. Vijayan, C. Balakrishnan, I.I.Abdullayev, E.Sh.Samandarov, A.B.Ibragimov. Synthesis and structure new supramolecular complex bis(2 morpholinethanamin) hexachloro-tin(iv) dichloride. Qo‘qon Davlat pedagogika Instituti “Kimyo ta’limi, fan va ishlab chiqarish integratsiyalari” Qo‘qon-2024 2024-yil 22-may

16.A.B.Ibragimov, N. Vijayan, C. Balakrishnan, E.Sh.Samandarov. Near optical (nlo) materials: synthesis of a new organic-inorganic hybrid material 4- (2-ammonioethyl) morpholin-4-ium hexachlorostannate (IV) Qo‘qon Davlat pedagogika Instituti International Conference on Multidisciplinary Sciences and Educational Practices Hosted online from Rome, Italy

17.A.B.Ibragimov, I.I.Abdullayev, N. Vijayan, C. Balakrishnan, E.Sh.Samandarov. Synthesis and structure of new supramolecular complex bis((pyridin-1-ium-4-yl)methanaminium) hexahalostannate(iv) dibromo International Conference on Multidisciplinary Sciences and Educational Practices Hosted online from Rome, Italy

Bosishga ruxsat etildi 09.04.2025 yil.
Ofset bosma qog‘oz. Qog‘oz bichimi 60Ч84 1/16.
“Times New Roman” garnituras. Ofset bosma usuli.
Shartli b.t. 2,8. Adadi 80 nusxa. Buyurtma № 31.

Termiz davlat universiteti nashr-matbaa markazida chop etildi. Manzil: Termiz shahri,
Barkamol avlod ko‘chasi, 43-uy.