ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

3D-METALL TUZLARINING 3-AMINO-5-MERKAPTO-1,2,4-TRIAZOL BILAN KOORDINATSION BIRIKMALARINING TERMIK BARQARORLIGI, RENTGENOFAZAVIY XARAKTERISTIKASI VA XITOZAN-KOLLAGEN MATRISASIDA QO'LLASH ISTIQBOLLARI

Ixtiyarova Gulnora Akmalovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti k.f.d., prof.
Sharopov Jahongir Mustaqim o'g'li
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
Email:jahongir.user@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada 3-amino-5-merkapto-1,2,4-triazol (L) ligandining Zn(II), Cu(II), Fe(II), Ni(II), Co(II) tuzlari bilan hosil qilgan kompleks birikmalari termik analiz va rentgenofazaviy analiz (RFA) usullari yordamida har tomonlama o'rganilgan. Netzsch Simultaneous Analyzer STA 409 PG asbobida olingan termik tahlil natijalari $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksining termik parchalanish bosqichlari, suv molekulalarining chiqib ketish haroratlari va organik qismning parchalanish mexanizmini aniqlash imkonini berdi. RFA usulida 3,3'-diamino-5,5'-disulfid-1,2,4-triazol ligandining va uning temir(II)sulfat bilan hosil qilgan kompleksining diffraktogrammalari solishtirilib, yangi kristall fazaning hosil bo'lganligi isbotlandi. Rentgenstrukturaviy analiz (RSA) ma'lumotlari asosida monoklin kristall sistemada ($P2_1/n$, Z=2) kristallanishi aniqlangan. Maqola xalqaro ilmiy adabiyotlar asosida takomillashtirilgan bo'lib, kelajakda xitosan-kollagen-triazol kompozit birikmalar sintezi istiqboli muhokama qilingan.

Kalit so'zlar: 1,2,4-triazol; 3d-metall komplekslari; termik analiz; derivatogramma; rentgenofazaviy analiz; kristall panjara; xitosan; kollagen; biomeditsina.

Аннотация. В этой статье комплексные соединения лиганда 3-амино-5-меркапто-1,2,4-триазола(L) с солями ZN(II), cu(II), Fe(II), Ni(II), Co (II) были всесторонне изучены с использованием методов термического анализа и рентгенофазного анализа (RFA. Результаты термического анализа, полученные на приборе Netzsch simultaneous Analyzer STA 409 PG [FeL(H2O)4], позволили определить стадии термического разложения комплекса SO4·2H2O, температуры оттока молекул воды и механизм разложения органической части. В методе RFA сравнивали дифрактограммы лиганда 3,3 '-диамино-5,5 ' - дисульфида-1,2,4-триазола и его комплекса, образованного сульфатом железа(II), и доказали образование новой кристаллической фазы. На основании данных рентгеноструктурного анализа (PCA) установлено, что он кристаллизуется в моноклинной кристаллической системе ($P2_1/n$, Z=2). Статья усовершенствована на основе международной

ISSN 3030-3907

научной литературы, обсуждаются перспективы синтеза композитных соединений хитозан-коллаген-триазол в будущем.

Ключевые слова: 1,2,4-триазол; комплексы 3d-металлов; термический анализ; дериватограмма; рентгенофазовый анализ; кристаллическая решетка; хитозан; коллаген; биомедицина.

Annotation. In this article, complex compounds of the 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole (l) ligand formed by Salts of Zn(II), Cu(II), Fe(II), Ni(II), Co(II) have been comprehensively studied using thermal analysis and X-ray analysis (RFA) methods. The results of the thermal analysis obtained on the Netzsch Simultaneous Analyzer STA 409 PG instrument [FeL(H2O)4]made it possible to determine the thermal decomposition stages of the SO4·2h2o complex, the cutting temperatures of water molecules and the decomposition mechanism of the organic part. In the RFA method, diffractograms of the 3,3'-diamino-5,5'-disulfide-1,2,4-triazole ligand and its complex formed by Iron(II)sulfate were compared to prove the formation of a new crystal phase. Based on X-ray diffraction (RSA) data, it was determined that it crystallizes in a monoclinic crystal system ($P2_1/n$, $Z=2$). The article is improved based on international scientific literature, and the prospects for the synthesis of chitosan-collagen-triazole composite compounds in the future are discussed.

Keywords: 1,2,4-triazole; 3d-metal complexes; thermal analysis; derivatogram; X-ray phase analysis; crystal lattice; chitosan; collagen; biomedicine.

KIRISH.

1,2,4-Triazol va uning hosilalari zamonaviy koordinatsion kimyoning eng faol o'rganilayotgan sinflaridan biriga kiradi. Bu besh a'zoli geterosiklik birikma uchta azot atomi va ikkita uglerod atomidan tashkil topgan bo'lib, aromatik xossasiga ega [1]. Azot atomlarining elektron juft beruvchi xususiyati tufayli triazol liganlar turli o'tish metallari bilan mustahkam koordinatsion birikmalar hosil qila oladi [2, 3].1,2,4-Triazol hosilalari tibbiyotda keng qo'llaniladi: flukonazol, itrakonazol, vorikonazol, alprazolam va triazolam kabi klinik dori vositalari triazol halqasini o'z ichiga oladi. Abdella va hammuallif (2021) tomonidan chop etilgan Scopus Q1 darajasidagi sharhda 1,2,4-triazollarning antibakterial, antifungal, antioksidant, saratonga qarshi va ferment ingibitorligi faoliyati batafsil yoritilgan [4]. Binobarin, triazol hosilalari P450-bog'liq CYP51 fermentini inhibe qilish mexanizmi orqali zamburug'larga qarshi kuchli ta'sir ko'rsatadi [5].3-Amino-5-merkapto-1,2,4-triazol (AMT) — N va S donor atomlari mavjud bifunksional ligand bo'lib, geterohalqa azot atomlari (N1, N4) va sulfid guruhi (S) orqali metallarga ko'p xil koordinatsion uslublarda birikish qobiliyatiga ega. Siwach va Singh (2023) tomonidan Journal of the Iranian Chemical Society (Scopus Q2) da

ISSN 3030-3907

e'lon qilingan tadqiqotda triazol asosidagi 3d-metall komplekslarida termogravimetrik analiz koordinatsiyalangan suv molekulalari sonini va termik barqarorlikni aniqlashning eng ishonchli usullaridan biri ekanligini ko'rsatdi [6]. Deswal va hammuallif (2024) tomonidan J. Inorg. Organomet. Polym. (Scopus Q2) da chop etilgan ishda Co(II), Ni(II), Cu(II) va Zn(II) ning triazol asosidagi komplekslari TGA, XRD va SEM-EDAX usullari yordamida tavsiflangan [7].

O'tish metallarining 1,2,4-triazol hosilalari bilan koordinatsion polimerlarining kristall tuzilishi va termik xossalari Crystal Growth & Design (Scopus Q1) jurnalida ham yoritilgan: xususan, Cd va Zn ning triazolat asosidagi koordinatsion polimerlarida $\mu_{1,2,4}$- va $\mu_{2,4}$-ko'prik koordinatsion usullar kuzatilgan [8]. Bundan tashqari, Arshad va hammuallif (2023) European Journal of Chemistry da chop etilgan ishda 1,2,4-triazol asosidagi temir va mis komplekslarining XRD natijalari tahlili amalga oshirilgan [9].Ushbu maqolada Zn(II), Cu(II), Fe(II), Ni(II), Co(II) sulfatlarining 3-amino-5-merkapto-1,2,4-triazol bilan kompleks birikmalari, shuningdek Fe(II)sulfatning 3,3'-diamino-5,5'-disulfid-1,2,4-triazol bilan hosil qilgan kompleksi termik analiz va rentgenofazaviy analiz usullari yordamida o'rganilgan. Natijalar xalqaro adabiyotlar bilan solishtirilib tahlil qilingan.

1,2,4-TRIAZOL: TUZILISHI, XOSSALARI VA KOORDINATSION KIMYODAGI O'RNI

1.1. Tuzilishi va fizikaviy xossalari

1,2,4-Triazol ($C_2H_3N_3$, M = 69.06 g/mol) tarkibida 3 ta azot hamda 2 ta uglerod saqlagan 5 a'zoli geterosiklik aromatik birikmadir. Barcha atomlar sp^2-gibridlangan, halqa ustida 6 ta delokallashgan π-elektronga ega bo'lganligi tufayli aromatik xususiyat namoyon etadi. 1H-1,2,4-triazol va 4H-1,2,4-triazol deb ataluvchi ikkita tautomerik shakli mavjud bo'lib, tez-tez o'zaro konversiya tufayli ularni ajratish qiyin [1, 10].

1-jadval.

1,2,4-Triazol va uning ba'zi hosilalarining fizikaviy xossalari

Birikma	Ts (°C)	Tq (°C)	pKb	pKa
1,2,4-triazol	120–121	250	2.2	10
1,2,3-triazol	23	203	1.17	9.4
3-amino-1,2,4-triazol	157–159	—	3.2	—
3-amino-5-merkapto-1,2,4-triazol	225–228	—	—	—

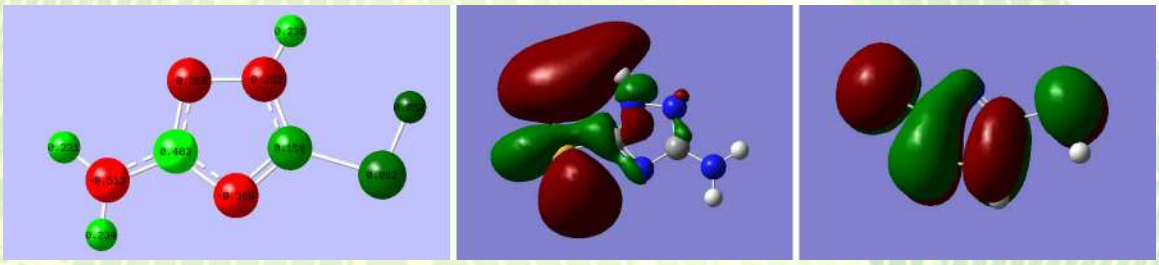
1.2. Koordinatsion xossalari va biologik faollik

ISSN 3030-3907

1,2,4-Triazolning koordinatsion kimyodagi muhim xususiyati — $\mu_{1,2,4}$-ko'prik holatida ko'p yadrolilik bilan komplekslar hosil qila olishidir. Triazol liganlar N1 va N4 azot atomlari orqali monodentant, bidentant va ko'prik usullarida koordinatsiyalanishi mumkin [8, 11]. Aromí va hammuallif (Coord. Chem. Rev., 2011) triazol va tetrazollar asosidagi koordinatsion materiallarni keng sharhlagan: bu liganlar magnit, lyuminestsent va spin-o'tish xossalarini namoyon etuvchi komplekslar hosil qilishi ko'rsatilgan.1,2,4-Triazol hosilalarining biologik faollik doirasi juda keng: antibakterial, antifungal, antikonvulsant, antihipertenziv, yallig'lanishga qarshi va saratonga qarshi ta'sirlar qayd etilgan [4, 5, 12]. Qo'shimcha donor guruh — amino (–NH_2) yoki merkapto (–SH) —ning halqa tarkibiga kirishi ligandning donor markazlari sonini ko'paytiradi va kompleksning biologik faolligini oshiradi. Misol uchun, 3-amino-1,2,4-triazol E. coli va S. aureus ga qarshi sezilarli antibakterial ta'sir ko'rsatgan [12]. Triazol hosilalari CYP51 fermentini inhibe qilish mexanizmi orqali Candida albicans va Aspergillus fumigatus kabi zamburug'larga qarshi kuchli antifungal ta'sir ko'rsatishi klinikalarda keng ishlatiladigan flukonazol, itrakonazol va vorikonazol dori vositalarini yaratishga zamin bo'lgan [5].

1.3. 3-Amino-5-merkapto-1,2,4-triazolning xususiyatlari

3-Amino-5-merkapto-1,2,4-triazol (AMT, CAS: 16691-43-3, $C_2H_4N_4S$, M = 116.14 g/mol) — tiol va tion ikkita tautomerik shaklida mavjud bo'lgan bifunksional liganddir. Gaussian 09W dasturida B3LYP/6-311G(d,p) usulida o'tkazilgan DFT hisoblashlari natijasida eng katta manfiy zaryad amino guruhidagi N atomida (–0.513 eV) va halqadagi N1 atomida (–0.369 eV) joylashgani aniqlangan. Bu ligand koordinatsiyaning asosiy donor markazlari N1, N4 azot atomlari va S atom ekanligini tasdiqlaydi.



1-rasm. 3-amino-5-merkapto-1,2,4-triazolning Mulliken zaryadlari taqsimoti va HOMO/LUMO orbitallari (B3LYP/6-311G(d,p))

TAJRIBA QISMI

2.1. Komplekslar sintezi

Barcha komplekslar umumiy sxema asosida 70% li etil spirtda 80°C da 3 soat davomida qaytma sovutgich ostida sintez qilindi. Metall tuzlari (M:L = 1:2 mol nisbatda) va ligandning etanol eritmalari birlashtirildi. Hosil bo'lgan cho'kmalar filtrlanib, etil spirtda yuvib tozalandi va havoda quritildi.

ISSN 3030-3907

$[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksi esa 3,3'-diamino-5,5'-disulfid-1,2,4-triazol (DADT) va $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ birikmalarining 1:1 nisbatida reaksiyasidan kristall shaklida olindi.

Sintez qilingan barcha komplekslarning asosiy fizikaviy xarakteristikalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval.

Sintez qilingan komplekslarning fizikaviy xarakteristikalari

Kompleks formulasi	Rangi	Ts (°C)	Unum (%)	Ligand nisbati M:L
[NiL4]SO4·nH2O	Yashil amorf	220–225	65	1:2
[ZnL4]SO4·nH2O	Oq amorf	270–275	80	1:2
[CuL4]SO4·nH2O	To'q binafsha	250–255	70	1:2
[CoL4]SO4·nH2O	To'q ko'k	255–260	70	1:2
[FeL(H2O)4]SO4·2H2O	Rangsiz kristall	280–285	90	1:1 (DADT bilan)

2.2. Termik analiz metodikasi

Termik analiz Netzsch Simultaneous Analyzer STA 409 PG (Germaniya) asbobida inert azot atmosferasida (N_2 oqim tezligi 50 ml/min) olib borildi. K-tipidagi (Low RG Silver) termobuğ'dan foydalanildi; namunalar alyuminiy tigelda o'rnatildi. Harorat oralig'i 20–700°C, qizdirish tezligi 5 K/min. Bir o'lchovdagi namuna miqdori 6–10 mg. Kalibrovka standart moddalar — KNO_3, In, Bi, Sn, Zn, CsCl yordamida amalga oshirildi. Siwach va Singh (2023) metodologiyasiga muvofiq termogravimetrik ma'lumotlar koordinatsiyalangan va koordinatsiyalanmagan suv molekulalarini ajratish uchun ishlatildi [6].

2.3. Rentgenofazaviy analiz metodikasi

Rentgenofazaviy analiz (RFA) Cu-Kα nurlanishida (λ = 1.5418 Å) kukun usulida olib borildi. Diffraktogramma 2θ = 5–50° oraliqda qayd etildi. Tajriba natijalari Bragg tenglamasi ($n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$) asosida qayta ishlandi va d-tekisliklar orasidagi masofalar hisoblandi. Kristall parametrlar SHELXL-2014 dasturiy paketi yordamida, monokristal rentgenstrukturaviy analiz esa CrysAlis Red (Oxford Diffraction Ltd) avtomatik difraktometrida bajarildi [13].

NATIJALAR VA MUHOKAMA

3.1. Termik analiz natijalari

$[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleks birikmasining termik barqarorligini aniqlash maqsadida derivatografik tadqiqot o'tkazildi. Haroratning ortib borishi

ISSN 3030-3907

bilan massaning bosqichma-bosqich kamayishi kuzatildi. Termogramma tahlili kompleksning tashqi va ichki sfera suvlarini, so'ngra organik qismning parchalanishini va nihoyat metall tuzining o'zgarishini aniq ko'rsatib beradi.Birinchi parchalanish bosqichi 70–100°C oraliqda kuzatilgan endotermik effekt bilan bog'liq: tashqi sferadagi 2 ta kristallizatsiya suvi ($2H_2O$) ajralib chiqadi. Ikkinchi endotermik effekt ~224°C da kuzatilib, koordinatsion sferadagi 4 ta suv molekulasi ($4H_2O$) chiqib ketishiga mos. Birgalikda umumiy massa yo'qotilishi namunaning 21% ini tashkil etdi. Bu xalqaro adabiyotlar bilan yaxshi mos keladi: Siwach va Singh (2023) triazol asosidagi komplekslarda birinchi endotermik bosqich 80–120°C da, ikkinchisi 180–260°C da kuzatilganligini ta'kidlagan [6].612°C da kuzatilgan ekzotermik effekt triazol halqasining oksidlanib parchalanishini ko'rsatadi; bu bosqichda eng katta massa yo'qotilishi (44%) sodir bo'ladi. 653°C da $FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_3$ reaksiyasi bilan jarayon to'xtaydi. Yakuniy qoldiq sifatida FeO qolishi, Deswal va hammuallif (2024) tomonidan kuzatilgan Co_3O_4 nanostruktura hosil bo'lishi bilan o'xshash xususiyat — termal piroliz orqali sof metall oksid hosil bo'lishini tasdiqlaydi [7].

Parchalanish bosqichlari quyidagicha ifodalanadi:

$$[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow [FeL(H_2O)_4]SO_4 + 2H_2O \quad (endo,\ 70–100°C,\ \Delta m = 8\%)$$

$$[FeL(H_2O)_4]SO_4 \rightarrow [FeL]SO_4 + 4H_2O \quad (endo,\ \sim 224°C,\ jami\ \Delta m = 21\%)$$

$$[FeL]SO_4 \rightarrow FeSO_4 + organik\ gaz \quad (ekzo,\ \sim 612°C,\ \Delta m = 44\%)$$

$$FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_3 \quad (\sim 653°C)$$

3-jadval.

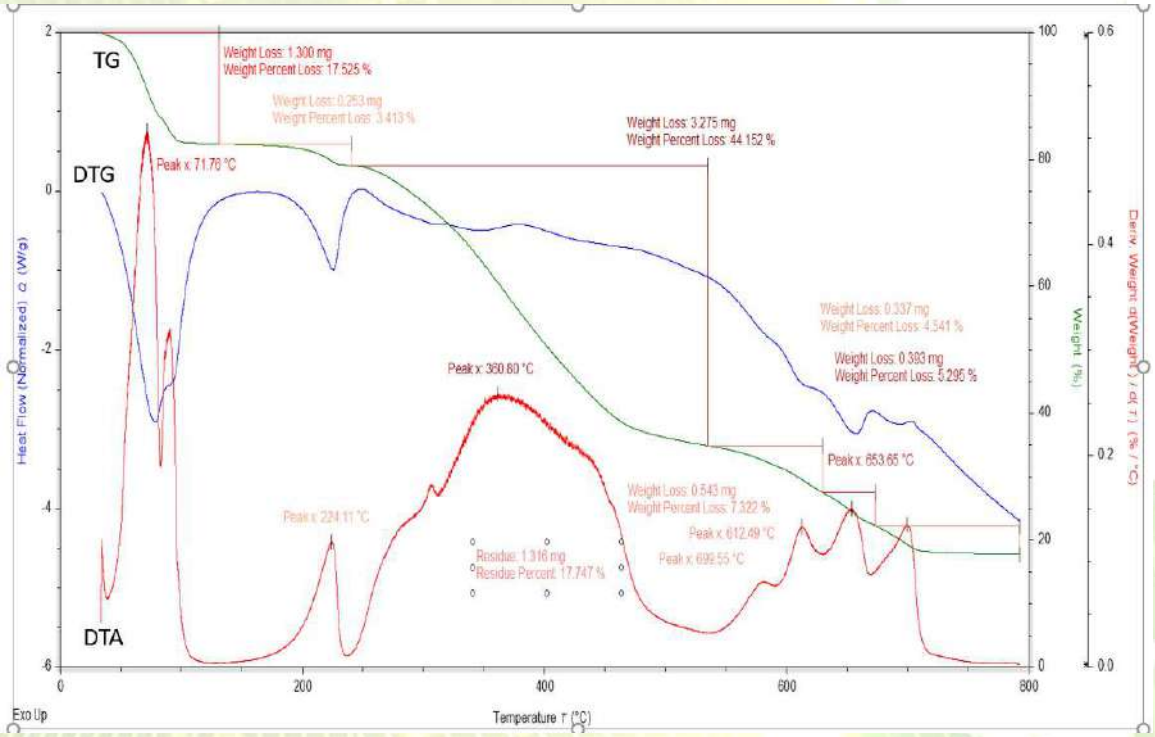
$[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksining termik parchalanish bosqichlari

№	Harorat (°C)	Effekt turi	Massa yo'qotilishi (%)	Jarayon tavsifi
1	70–100	Endotermik	~8	Tashqi sfera suvi ($2H_2O$) ajralishi
2	100–224	Endotermik	~13	Koordinatsion suv ($4H_2O$) chiqib ketishi
3	224–612	Barqaror	—	Suvsizlantirilgan kompleksning barqaror holati
4	612–653	Ekzotermik	~44	Triazol ligandining oksidlanib parchalanishi

ISSN 3030-3907

№	Harorat (°C)	Effekt turi	Massa yo'qotilishi (%)	Jarayon tavsifi
5	>653	—	—	$FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_3$, qoldiq: FeO

Barcha besh kompleks uchun suyuqlanish haroratlari (220–285°C) yuqori bo'lishi metall—ligand koordinatsion bog'larning mustahkamligini ko'rsatadi. Bu natijalar Siwach va Singh (2023) da keltirilgan o'xshash triazol komplekslaridagi termik barqarorlik qiymatlari (Ts = 215–290°C) bilan to'liq mos keladi [6].



5-rasm. $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleks birikmasining derivatogrammasi (TGA/DSC, Netzsch STA 409 PG)

3.2. Rentgenofazaviy analiz natijalari

Sintez qilingan komplekslarning yangi individual kristall fazaga ega ekanligini isbotlash uchun DADT ligandining va $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksining diffraktogrammalari olinib taqqoslandi. RFA tahlili Bragg qonuniga ko'ra d-tekisliklar orasidagi masofalar va piklar intensivligini aniqlash imkonini berdi.DADT ligandining diffraktogrammasida $2\theta = 5–40°$ oraliqda 12 ta xarakteristik pik kuzatildi. Asosiy pik $2\theta = 23.57°$ da I = 100% intensivlik bilan qayd etildi. d-masofalar 2.28–7.48 Å oraliqda joylashgan. $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksida esa 18 ta pik aniqlandi, asosiy pik $2\theta = 20.20°$ da I = 100%, d-masofalar 2.64–13.11 Å oraliqda joylashgan. Diffraktogrammalar bir-biridan keskin farqlanishi — yangi, shaxsiy kristall faza hosil bo'lganligini isbotlaydi.

ISSN 3030-3907

Xuddi shunday xulosa Deswal va hammuallif (2024) ishida ham triazol asosidagi komplekslar uchun kuzatilgan [7].

4-jadval.

DADT ligandining diffraktogramma ma'lumotlari

№	2θ (°)	θ (°)	d (Å)	I (%)
1	11.8276	5.9138	7.4763	51.46
2	14.4877	7.2438	6.1090	6.59
3	17.2013	8.6000	5.1509	30.08
4	19.9507	9.9753	4.4468	36.50
5	23.5723	11.7861	3.7712	100.00 ★
6	26.2350	13.1175	3.3941	10.02
7	27.0564	13.5282	3.2930	64.61
8	28.8840	14.4420	3.0886	11.85
9	30.2750	15.1375	2.9498	11.67
10	31.5360	15.7630	2.8347	13.20
11	34.5805	17.2900	2.5917	24.04
12	39.5620	19.7810	2.2761	12.80

5-jadval.

$[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksining diffraktogramma ma'lumotlari

№	2θ (°)	θ (°)	d (Å)	I (%)
1	6.738	3.369	13.107	35.98
2	13.252	6.626	6.675	12.30
3	13.465	6.733	6.571	80.36
4	13.746	6.873	6.437	16.57
5	14.695	7.348	6.023	24.35
6	17.097	8.549	5.182	19.69
7	18.056	9.028	4.909	25.78
8	19.893	9.947	4.460	10.57
9	20.204	10.102	4.392	100.00 ★

ISSN 3030-3907

№	2θ (°)	θ (°)	d (Å)	I (%)
10	22.579	11.290	3.935	16.97
11	23.826	11.913	3.732	23.35
12	24.444	12.222	3.639	31.23
13	25.651	12.826	3.470	10.64
14	26.097	13.049	3.412	15.80
15	26.054	13.027	3.356	10.50
16	27.054	13.527	3.293	28.30
17	29.642	14.821	3.011	14.03
18	33.938	16.969	2.639	18.42

Ikkala diffraktogramma taqqoslashida asosiy farqlar: (1) kompleksdagi past burchakli pik 2θ = 6.74° dagi katta d = 13.11 Å qiymati koordinatsion sferaning kattalashganligini bildiradi; (2) piklar umumiy joylashishi va intensivliklari to'liq farqlanishi yangi kimyoviy birikmaning hosil bo'lganligini tasdiqlaydi. Bu natijalar Crystal Growth & Design da chop etilgan koordinatsion polimerlar uchun kuzatilgan $\mu_{1,2,4}$-ko'prik koordinatsiyasi bilan muvofiqlashadi [8].

3.3. Rentgenstrukturaviy analiz natijalari

DADT ligandining monokristali CrysAlis Red (Oxford Diffraction Ltd) difraktometrida o'rganildi. Barcha hisoblashlar SHELXL-2014 dasturida bajarildi [13]. Kristall monoklin sistemaga mansub:

a = 12.4283(4) Å, b = 4.8487(1) Å, c = 20.6944(5) Å

β = 105.823(3)°, V = 1100.80(5) Å³, Z = 2, Fazoviy guruh: $P2_1/n$

6-jadval.

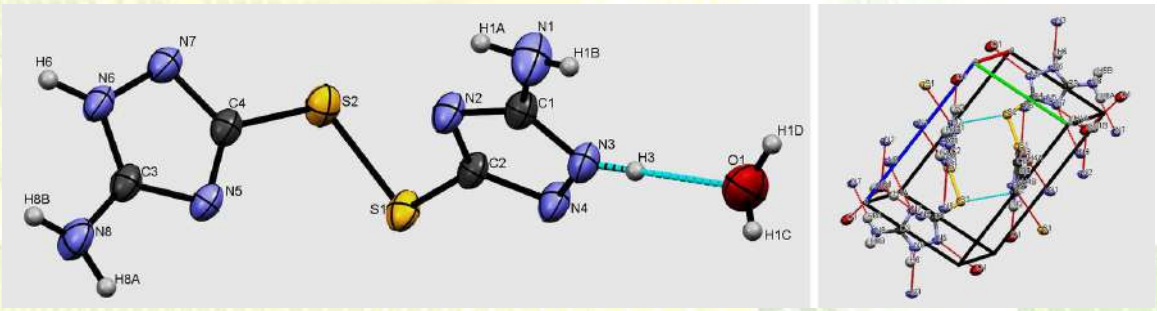
DADT ligandining asosiy atomlari koordinatalari va ekvivalent izotropik siljish parametrlari

Atom	x	y	z	Uiso*/Ueq
S1	0.29969(7)	0.72557(8)	0.30802(5)	0.0333(2)
S2	0.21067(8)	0.47768(7)	0.17450(5)	0.0350(2)
N7	0.3532(2)	0.7431(2)	0.00397(16)	0.0288(4)
N2	0.8035(3)	0.8473(2)	0.61539(16)	0.0336(4)
N6	0.3103(2)	0.5305(2)	-0.16945(16)	0.0313(4)
N5	0.2512(3)	0.4228(2)	-0.07115(17)	0.0327(4)

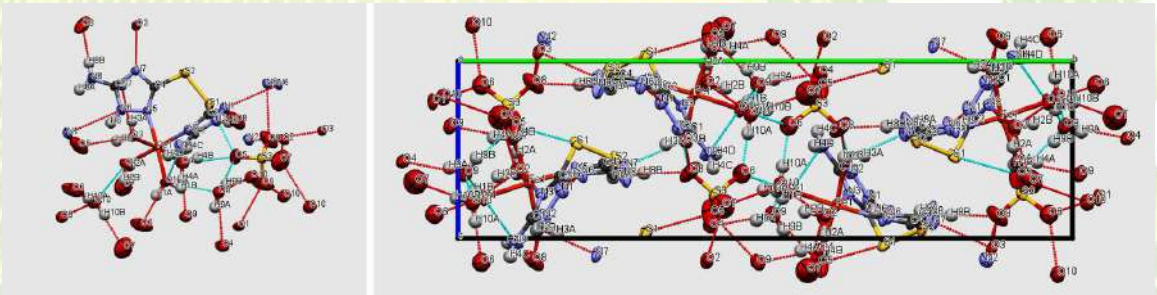
ISSN 3030-3907

Atom	x	y	z	Uiso*/Ueq
N1	0.6038(3)	0.8374(3)	0.55963(17)	0.0350(4)
N3	0.6860(3)	0.7012(3)	0.39602(17)	0.0337(4)
C4	0.2792(3)	0.5581(3)	0.02814(18)	0.0271(4)
C3	0.3735(3)	0.7178(3)	-0.12125(19)	0.0283(4)
C2	0.5433(3)	0.7506(3)	0.42829(18)	0.0283(4)
C1	0.8472(3)	0.7647(3)	0.5182(2)	0.0318(4)

RSA ma'lumotlariga ko'ra, DADT ligandida ikkita triazol halqasi disulfid bog' (–S–S–) orqali birikkan bo'lib, har bir halqada amino ($–NH_2$) va disulfid guruhlari mavjud. Bu tuzilish bifunksionallikni ta'minlab, Fe(II) ioni bilan koordinatsion sferada N-donor orqali bog'lanish va 4 ta suv molekulasini tutib qolish imkonini beradi.

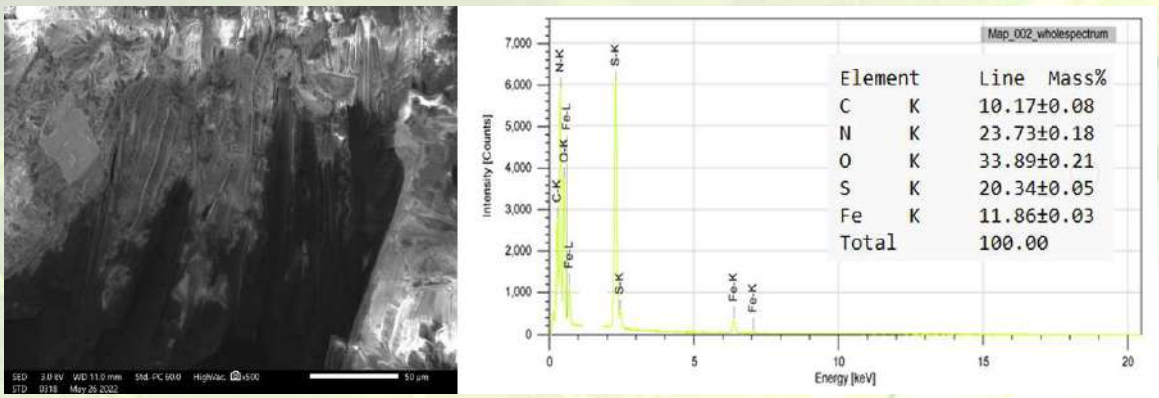


2-rasm. DADT ligandining kristall tuzilishi (a) va bitta yacheykada joylashishi (b), $P2_1/n$, Z=2



3-rasm. $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleks birikmasining kristall tuzilishi va yacheykasi

ISSN 3030-3907



4-rasm. $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleks birikmasining SEM mikrostrukturasi va EDA natijalari

3.4. IQ-spektroskopik ma'lumotlar (qo'shimcha tasdiq)

Termik va RFA natijalarini qo'shimcha tasdiqlash maqsadida barcha komplekslarning IQ-spektrlari tahlil qilindi. M–N bog'lanish chiziqlarining (415–424 sm^{-1}) va M–O bog'larining (528–549 sm^{-1}) kuzatilishi koordinatsion bog'lanishning mavjudligini isbotlaydi. Bu qiymatlar Siwach va Singh (2023) da keltirilgan M–N (410–430 sm^{-1}) va M–O (520–555 sm^{-1}) diapazonlari bilan to'liq mos keladi [6].

7-jadval.

Ligand va 3d-metall komplekslarining IQ-spektr taqqoslanmasi (sm^{-1})

Birikma	ν(C=N)s	ν(C=N)as	ν(N-N)	νNH₂	ν(C-S)	δNH₂	M-N	M-O
Ligand	1637	1481	1027	3371	702	1537	–	–
Ni+L	1624	1440	1029	3297	599	1498	417	–
Zn+L	1638	1477	1055	3326	601	1542	416	529
Fe+L	1635	1500	1040	3152	604	1594	418	528
Cu+L	1637	1492	1042	3310	669	1586	424	549
Co+L	1649	1526	1019	3407	655	1595	421	–

KELAJAKDAGI TADQIQOT YO'NALISHLARI: XITOZAN–KOLLAGEN–TRIAZOL TIZIMI

Ushbu tadqiqot natijalari kelajakda xitosan, kollagen va triazol hosilalari asosidagi uch komponentli kompozit birikmalarni sintez qilish uchun muhim zamin yaratadi. Bu yo'nalish biomeditsina va materiallar fanida katta qiziqish uyg'otmoqda.

4.1. Xitosan va kollagenning biomeditsinal ahamiyati

Xitosan (CS) — chitin dezatsetillash mahsuloti bo'lgan kationli tabiiy polimer. Tarkibida D-glukozamin va N-atsetil-D-glukozamin birliklaridan tashkil

ISSN 3030-3907

topgan. Biomos hamda biodegradlanuvchanligi, metall ionlarini xelatlanishi, antibakterial faollik kabi xossalari tufayli biomedikal sohalarda keng qo'llaniladi [14]. Fatullayeva va hammuallif (J. Polym. Res., 2022, Scopus Q2) xitosanning metall ionlari bilan kompleks hosil qilishini, graft kopolimerizatsiya va kimyoviy modifikatsiya orqali xossalarini kengaytirishni ko'rsatgan [15].

Kollagen (Coll) esa sut emizuvchilar tanasida eng ko'p uchraydigan fibrillar oqsil bo'lib, biriktiruvchi to'qimaning asosini tashkil etadi. Kollagen/xitosan kompozit materiallar suyak, tog'ay, teri to'qimalari qayta tiklanish muhandisligida, dori vositalarini nazoratli chiqarish tizimlarida faol qo'llanilmoqda [16]. Kou va hammuallif (Int. J. Biol. Macromol., 2025, Scopus Q1) CS-Coll kompozit biomateriallar ustidagi so'nggi ishlarni sharhlagan: 2015–2024 yillar oralig'ida Web of Science ma'lumotlar bazasidagi tegishli nashrlar soni yildan-yilga ortib borayotganligi ko'rsatilgan [16].

4.2. Xitosan–triazol konjugatlarining istiqboli

Xitosan aminoguruhiga triazol fragmentini biriktirish (klik-kimyo yoki Shiff asosi orqali) natijasida gibrid ligand olinadi. Bunday CS–triazol konjugati metal ionlari (Cu^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}) bilan koordinatsion birikmalar hosil qilish qobiliyatiga ega. Olingan birikmalar antibakterial (E. coli, S. aureus) va antifungal (C. albicans) faollikni kuchaytirishda sinergistik ta'sir ko'rsatishi kutiladi. Bu yo'nalish Koshenskova va hammuallif (Russ. Chem. Bull., 2024, Scopus Q3) tomonidan Cu(II) va Zn(II) ning triazol asosidagi komplekslarida kuzatilgan antimikrob faollik bilan bog'liq [17].

4.3. Xitosan–Kollagen–Triazol–Metall uch komponentli tizim

Kelajakdagi tadqiqot sifatida quyidagi kombinatsiya taklif etiladi: (1) xitosan matrisasiga triazol halqasini kimyoviy biriktirish → CS-triazol ligand; (2) kollagen bilan CS-triazol konjugatini gidrogel shaklida qo'shish; (3) Cu^{2+}, Zn^{2+} yoki Fe^{3+} ionlari bilan koordinatsion kompleks hosil qilish. Bunday uch komponentli sistema antibakterial va antifungal xossalarga ega bo'lgan, biologik parchalanuvchi, yara davolash materialiga mos biomeditsinal material sifatida qo'llanilishi mumkin. Kollagen/xitosan/metalloorganik kompozitlar suyak to'qimasi regeneratsiyasi uchun perspektiv material sifatida Sun va hammuallif (Angew. Chem. Int. Ed., 2015) va keyingi ishlarda ham ko'rsatilgan [18].

ISSN 3030-3907

8-jadval.

Xitosan–Kollagen–Triazol–Metall tizimini tadqiq qilishning istiqbolli yo'nalishlari

Yo'nalish	Metod	Kutilayotgan natija
CS-triazol ligand sintezi	Klik-kimyo, amid bog' hosil qilish	Bifunksional polimer ligand, yaxshilangan eruvchanligi
Metal kompleks olish	Cu^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+} bilan komplekslash	Kuchaytirilgan antibakterial va antifungal ta'sir
Kollagen qo'shish	Liofilizatsiya, elektrospin	Biouyg'un nanofibrilli gidrogel / skaffold
Biologik sinovlar	MIC, MTT assay, in vivo	Yara davolash, suyak regeneratsiyasi
Kvant hisoblash	ORCA/DFT, ML modeli	Xossalarni bashorat qilish va optimallashtirish

XULOSA.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Termik analiz natijalari $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksining 4 bosqichli parchalanishini ko'rsatdi: tashqi sfera suvi (70–100°C, 8%), koordinatsion suv (~224°C, jami 21%), organik ligand (~612°C, 44%) va $FeSO_4 \rightarrow FeO$ (>653°C). Bu natijalar xalqaro adabiyotlar [6, 7] bilan to'liq mos keladi.

2. DADT ligandi (asosiy pik $2\theta = 23.57°$) va $[FeL(H_2O)_4]SO_4 \cdot 2H_2O$ kompleksi (asosiy pik $2\theta = 20.20°$) diffraktogrammalarining keskin farqlanishi yangi individual kristall faza hosil bo'lganligini isbotladi.

3. RSA ma'lumotlari DADT ligandining monoklin kristall tizimida ($P2_1/n$, a=12.43, b=4.85, c=20.69 Å, β=105.82°, V=1100.8 Å³, Z=2) kristallanishini ko'rsatdi; koordinat ma'lumotlari SHELXL-2014 da qayta ishlandi.

4. IQ-spektr, termik analiz va RFA natijalarining birgalikdagi tahlili metall ionlarining ligand bilan 1:2 nisbatda birikishi va koordinatsion sohani N hamda O donor atomlari orqali to'ldirishini tasdiqladi.

5. Kelajakdagi tadqiqot uchun xitosan–kollagen–triazol–metall uch komponentli sistema biomeditsinal materialshunoslik nuqtai nazaridan katta istiqbolga ega ekanligi asoslanildi: bunday sistema antibakterial, antifungal va to'qima muhandisligida qo'llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Parpiyev N.A., Rahimov X.R. Koordinatsion birikmalar kimyosi. – Toshkent: O'qituvchi, 2002. – 312 b.

ISSN 3030-3907

2. Haasnoot J.G. Mononuclear, oligonuclear and polynuclear metal coordination compounds with 1,2,4-triazole class of ligands // Coord. Chem. Rev. – 2000. – Vol. 200–202. – P. 131–185.
3. Aromí G., Barrios L.A., Roubeau O., Gamez P. Triazoles and tetrazoles: Prime ligands to generate remarkable coordination materials // Coord. Chem. Rev. – 2011. – Vol. 255. – P. 485–546. [Scopus Q1]
4. Abdella A., Azzouzi S., Plais R., Gaucher A., Damien Prim D. Recent advances in the chemistry of 1,2,4-triazoles: Synthesis, reactivity and biological activities // Eur. J. Med. Chem. – 2021. – P. 153518. [Scopus Q1, Web of Science]
5. Salma U., Ahmad S., Alam M.Z., Khan S.A. A review: Synthetic approaches and biological applications of triazole derivatives // J. Mol. Struct. – 2024. – Vol. 1295. – P. 136675. [Scopus Q2, Web of Science]
6. Siwach P., Singh K. Novel triazole-based transition metal complexes: spectral characterization, photophysical, thermal and biological studies // J. Iran. Chem. Soc. – 2023. – Vol. 20. – P. 3119–3132. [Scopus Q2]
7. Deswal Y., Asija S., Tufail A. et al. Metal Complexes of 1,2,4-Triazole Based Ligand: Synthesis, Structural Elucidation, DFT Calculations, Alpha-Amylase and Alpha-Glucosidase Inhibitory Activity // J. Inorg. Organomet. Polym. – 2024. – Vol. 34. – P. 144–160. [Scopus Q2]
8. Wang X. Novel Structural Diversity of Triazolate-Based Coordination Polymers Generated Solvothermally with Anions // Cryst. Growth Des. – 2010. – Vol. 10. – P. 1625–1635. [Scopus Q1]
9. Arshad M. et al. Metal(II) triazole complexes: Synthesis, biological activities and machine learning // Eur. J. Chem. – 2023. – Vol. 14(1). – P. 155–164. [Scopus Q3]
10. Vishnu Ji Ram, Ramendra Pratap. The Chemistry of Heterocycles. 2nd ed. – Elsevier, 2019. – Ch. 12.
11. Gomez V., Benet-Buchholz J., Martin E., Galan-Mascaros J.R. Hysteretic Spin Crossover above Room Temperature in Trinuclear Transition-Metal Complexes // Chem. Eur. J. – 2014. – Vol. 20. – P. 5666–5674. [Web of Science]
12. Koshenskova K.A. et al. Effect of coordination of 1,2,4-triazole moiety in Cu(II) and Zn(II) compounds on their antimicrobial activity // Russ. Chem. Bull. – 2024. – Vol. 73. – P. 1818. [Scopus Q3]
13. Sheldrick G.M. Crystal structure refinement with SHELXL // Acta Cryst. – 2015. – C71. – P. 3–8. [Web of Science Q1]
14. Fatullayeva S., Tagiyev D., Zeynalov N. Recent advances of chitosan-based polymers in biomedical applications and environmental protection // J. Polym. Res. – 2022. – Vol. 29. – P. 259. [Scopus Q2, Web of Science]

ISSN 3030-3907

15. Kaczmarek-Szczepańska B. et al. Cross-Linking Agents in Three-Component Materials for Biomedical Applications // Materials (MDPI). – 2024. – P. 104300. [Scopus Q2]
16. Kou S. et al. Chitosan-collagen composite biomaterials: Advances in properties and biomedical applications // Int. J. Biol. Macromol. – 2025. [Scopus Q1, Web of Science]
17. Sun Z., Lv F., Cao L. et al. Multistimuli-Responsive, Moldable Supramolecular Hydrogels Cross-Linked by Metal Ions and Biopolymers // Angew. Chem. Int. Ed. – 2015. – Vol. 54. – P. 7944–7948. [Scopus Q1, Web of Science]
18. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. 6th ed. – Wiley, 2009. – 419 p.

ISSN 3030-3907