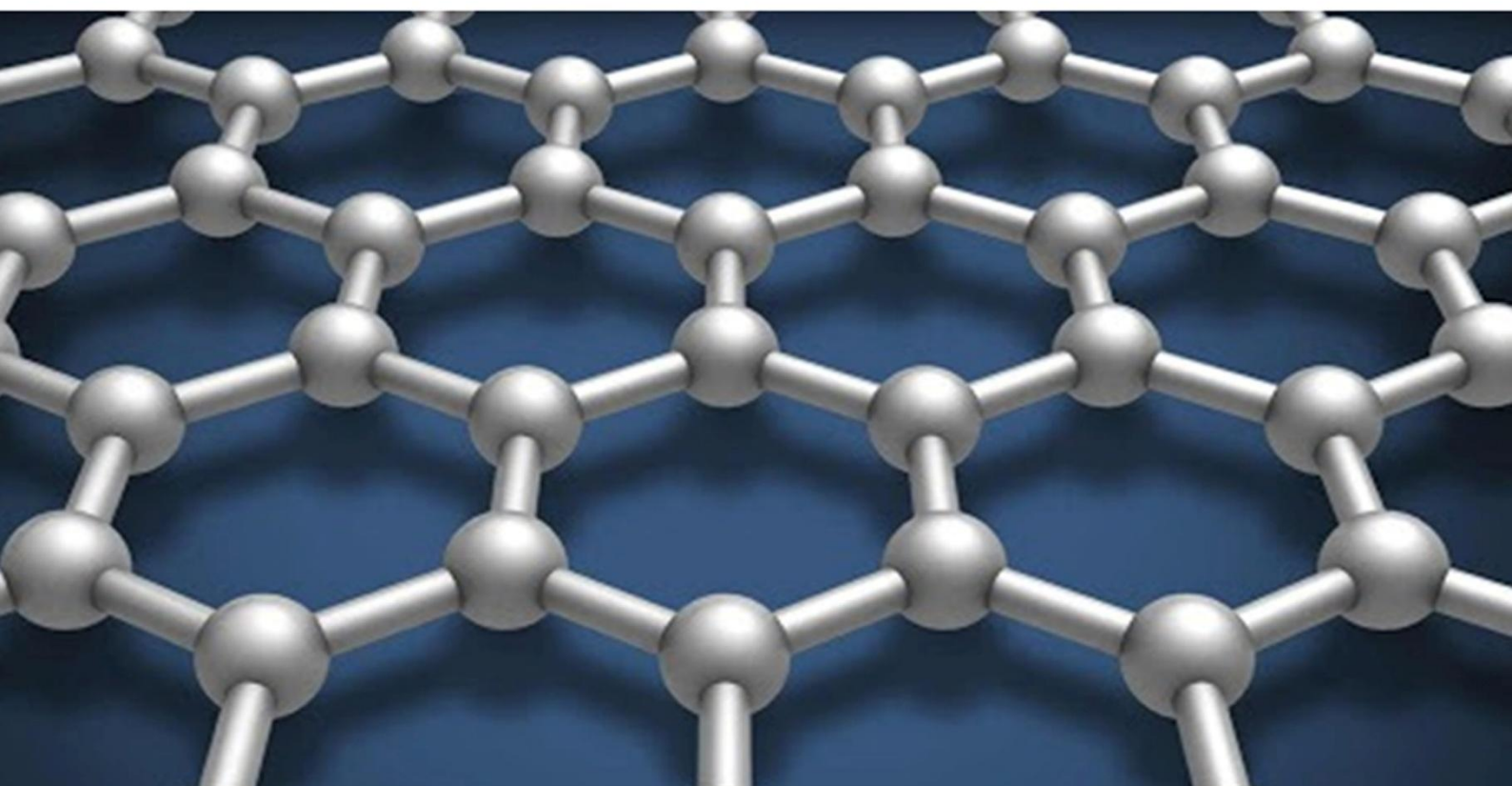


O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Хасанов А.С. Шлаки медного производства. Издательство “Muharrir nashiyoti” Ташкент, 2004. 445 с
2. Использование металлургических техногенных отходов в качестве сырья / Ш.Т. Хожиев, А.А. Эркинов, Х.Т. Абжалова, С.У. Мирсаотов [и др.] // Студенческий вестник: научный журнал. – М.: Интернаука, 2019. – № 43 (93). – Ч. 5. – С. 69–71.
3. Минералогический анализ шлаков медеплавильного завода Алмалыкского горно-металлургического комбината / Ш.Т. Хожиев, Х.К. Нусратуллаев, У.А. Акрамов, Д.Б. Ирсалиева [и др.] // Студенческий вестник: научный журнал. – М.: Интернаука, 2019. – № 43 (93). – Ч. 5. – С. 62–64.
4. Термогравитационное обеднение шлаков медного производства / Ш.Т. Хожиев, Н.Ш. Зайниддинов, С.У. Мирсаотов, Д.Б. Ирсалиева [и др.] // Студенческий вестник: научный журнал. – М.: Интернаука, 2019. – № 43 (93). – Ч. 5. – С. 65–68.
5. Complex Processing Of Lead-Containing Technogenic Waste From Mining And Metallurgical Industries In The Urals / K.D. Khakimov, U.K. Eshonqulov, T.S. Amanov, A.A. Umirzoqov // The American Journal of Engineering And Technology «IMPACT FACTOR». – 2020. – № 5. – P. 32
6. Вохидов Б.Р. Разработка технологии получения платиновых металлов из техногенных отходов. // Научно-методический журнал Евразийский союз ученых (ЕСУ): Москва, 2020. Июнь №6(75). С.38-46.
7. Хасанов Абурашид Солиевич, Вохидов Бахриддин Рахмидинович, Бабаев Мирдодожон Шарофжон угли. Инновационные подходы к техногенным отходам как сырьевой базе горно-металлургической отрасли // X Форум ВУЗОВ Инженерно-технологического профиля союзного Государства - Минск, 2021.6-9 Декабря №10. С.135-137.
8. Voxidov B.R. // Development and improvement of technology for extraction of precious metals from technogenic raw materials // Научно-методический журнал UNIVERSUM: Технические науки, 2021. Dekabr №12(93). С.11-16.

XITOZAN-KOLLAGEN VA 1,2,4-TRIAZOL ASOSIDA METALL KOMPLEKSLAR: ZAMONAVIY TADQIQOTLAR TAHLILI

Ixtiyarova Gulnora Akmalovna, Sharopov Jahongir Mustaqim o'g'li

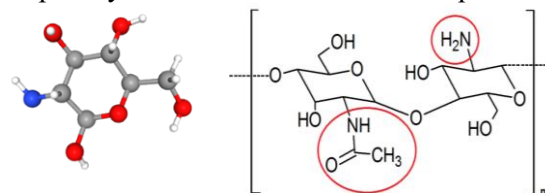
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Xitozan tabiiy bipolimer bo'lib, kollagen bilan aralashmali materiali biomuhandislik, tibbiyot va ekologiya sohalarida tobora keng qo'llanilmoqda. 1,2,4-triazol halqasi esa azot va oltingugurt donor atomlari tufayli coordinator ligand sifatida mashhur bo'lib, turli metall ionlari bilan mustahkam komplekslar hosil qiladi. Ushbu maqolada xitozan-kollagen kompozitlari va 1,2,4-triazol asosida metall komplekslarning sintezi, strukturaviy xususiyatlari hamda biologik va texnologik qo'llanilishlari bayon qilingan. Tadqiqotlar xitozanni kollagen bilan sintezi va triazol birikmalari bilan kimyoviy modifikatsiyalash orqali biomaterialning gidrofoblik, mexanik va biofaollik xususiyatlari yaxshilanishini ko'rsatadi. Triazol birikmalari metall ionlari bilan koordinatsiya qilib mikroblarga qarshi xususiyat, antioksidant, korroziya ingibitorlari va katalizator sifatida xizmat qiluvchi birikmalar paydo bo'lishiga olib keladi. Shuningdek, xitozan asosidagi triazol komplekslar dori tashuvchilar, zich yaralar uchun g'ovak matritsalar va magnetik katalizatorlar sifatida qo'llaniladi.

Kalit so'zlar: xitozan; kollagen; 1,2,4-triazol; metall kompleks; klik-kimyo; kollagen-xitozan kompozit; biofaol material; korroziya ingibitori; mikroblarga qarshilik; antioksidant; yara bitishi.

Kirish. Xitozan – β -(1→4)-bog'langan D-glyukozamin va N-atsetil-D-glyukozamin qismlaridan iborat tabiiy polisaxariddir. U chig'anoqli yoki qisqichbaqasimon organizmlar qobig'idan ajratib olinadi va amin hamda gidroksil guruhlari tufayli metall ionlarini hamda boshqa biopolimerlarni xelatlashga moyil bo'ladi [1]. Ushbu tadqiqotning maqsadi xitozan-kollagen biomatritsasi va 1,2,4-triazol asosidagi ligandlar ishtirokida hosil bo'ladigan metall komplekslar haqidagi zamonaviy ilmiy ishlarni tizimli tahlil qilish, ularning molekulyar bog'lanish mexanizmlarini umumlashtirish hamda bunday ko'p komponentli tizimlarning biologik va texnologik qo'llanilish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Tadqiqot doirasida xitozan va kollagen o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar, triazol ligandlarining koordinatsion xususiyatlari hamda metall

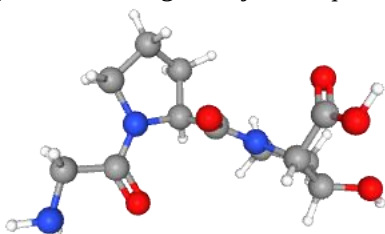
ionlarining ko'prik vazifasi bajarishi orqali hosil bo'ladigan funksional biomateriallarning xossalari kompleks yondashuv asosida ko'rib chiqildi.



1-rasm: Xitozan monomeri

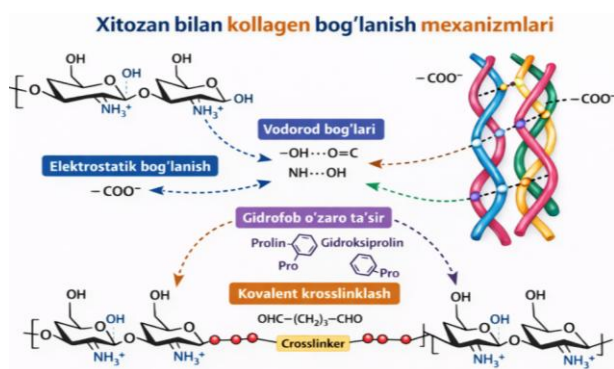
Xitozan asosan chitin polimerining deasetillanishi natijasida olinadigan tabiiy biopolimer bo'lib, u an'anaviy ravishda qisqichbaqasimonlar qobig'idan ajratib olinadi. So'nggi yillarda esa muqobil va istiqbolli manba sifatida o'lik asalarilar (Apis mellifera podmori) dan foydalanish taklif etilmoqda. Asalari tanasi tarkibida sezilarli miqdorda chitin mavjud bo'lib, u

asosan tashqi skelet (ekzoskelet) tuzilmasida joylashgan [2]. Kollagen esa hayvonlarning bog'lovchi to'qimalarida keng tarqalgan tolali oqsil bo'lib, ozuqa, tibbiyot va kosmetologiyada qo'llaniladi [3]. Xitozan bilan kollagen aralashmalari yaralar uchun membrana, gubka, 3D chop etish scaffold va nanotolali materiallar sifatida ishlatilib, ular bakteriyalarga qarshi, antioksidant va gemostatik xususiyatlar ko'rsatadi. Bu kompozitlar 4D bio chop etish va regenerativ tibbiyot kabi yangi texnologiyalar bilan birga rivojlanmoqda [4].



2-rasm kollagen fragmenti

Molekulyar darajada xitozan va kollagen o'rtasida vodorod bog'lari va ionli o'zaro ta'sirlar mavjud bo'lib, bu ikki biopolimerdan hosil bo'lgan komplekslar ko'p fazali moddalarga aylanishi mumkin. Masalan, baliq terisidan olingan kollagen hamda xitozanni birlashtirib tayyorlangan komplekslar maysarincha bir xil sferik shakl va keng pH oralig'ida yuqori barqarorlikka ega ekani, kristall tuzilishi kuchaygani va antioksidant xususiyati (yuqori superoksid dismutaza faolligi va past malondialdegid darajasi) kuchaygani qayd etiladi. Bu komplekslar tyrozinaza fermentini inhibisiya qilib melanin hosil bo'lishini kamaytirgan va bu xususiyat ularni kosmetik sohada potensial qo'llash imkonini beradi [5].



3-rasm: Xitozan bilan kollagen bog'lanish mexanizmlari

Xitozan va kollagen o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar bir nechta fizik-kimyoviy mexanizmlar orqali amalga oshadi. Molekulyar darajada asosiy bog'lanish elektrostatik o'zaro ta'sir hisoblanib, protonlangan xitozanning NH_3^+ guruhlari kollagen zanjiridagi COO^- funksional guruhlari bilan ionik bog'lar hosil qiladi. Ushbu mexanizm ayniqsa kislotali va neytral pH sharoitida ustun bo'lib, kompozit tizimning barqarorligini ta'minlaydi.

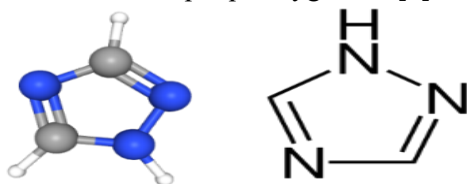
Bundan tashqari, xitozan va kollagen makromolekulalari orasida vodorod bog'lari shakllanib, ular xitozanning gidroksil va amin guruhlari bilan kollagenning karbonil va amin guruhlari o'rtasida yuzaga keladi. Ushbu vodorod bog'lari polimerlararo zich tarmoq hosil bo'lishiga va mexanik xossalarning yaxshilanishiga xizmat qiladi. Kollagen tarkibidagi prolin va gidroksiprolin qoldiqlari bilan bog'liq gidrofob o'zaro ta'sirlar esa kompozit strukturaning fazoviy barqarorligini oshirib, suvga chidamlilik xususiyatini kuchaytiradi. Ayrim hollarda xitozan va kollagen zanjirlari kovalent krosslinklash orqali ham bog'lanishi mumkin. Masalan, glutaraldegid kabi bifunksional krosslinkerlar yordamida xitozanning amin guruhlari bilan Schiff bazasi tipidagi kovalent bog'lar hosil bo'lib, uch o'lchamli mustahkam tarmoq struktura shakllanadi. Natijada hosil bo'lgan xitozan-kollagen kompozitlari yuqori mexanik barqarorlik, biologik moslik va biofaollik xususiyatlariga ega bo'lib, ularni yara bitishini tezlashtiruvchi biomateriallar, to'qima muhandisligi scaffoldlari va dori tashuvchi tizimlar sifatida qo'llash imkonini beradi.

Xitozanning metall ionlarini xelatlash qobiliyati ko'plab metall-biopolymer nanokompozitlarning tayyorlanishiga asos bo'ladi. Xitozan gidroksil va amin guruhlari bilan metall ionlarini bog'lab, katalizatorlar, biosensorlar, dori tashuvchilar hamda antibakterial qoplamalar sifatida ishlatiladigan materiallar hosil qiladi. Masalan, xitozan matritsasida lazer ablatsiyasi bilan tayyorlangan kumush va mis nanopartikullari kuchli antibakterial faollikka ega bo'lib, Ag-CS kompozitning minimal inhibitiv kontsentratsiyasi 0,006 g/L va Cu-CS kompozitining 0,003 g/L bo'lib, ularda suvni shimilish qobiliyati 200 % dan yuqori. Bu metall-xitozan filmlari to'qimachilik va tibbiy mahsulotlar uchun mikroblarga qarshi xususiyat qoplama sifatida foydali ekanini ko'rsatadi. 1,2,4-triazol – uchta azot atomini o'z ichiga olgan besh a'zoli aromatik halqa bo'lib, uning oltingugurt yoki aminokislota substituentlari koordinadorligi kuchli ligandlar yaratadi. Triazol halqalari natijasida hosil bo'ladigan ligandlar turli metall ionlari bilan mustahkam komplekslar hosil qiladi.

Masalan, 4-amino-5-piridil-4H-1,2,4-triazol-3-tiol ligandi Ni(II), Cu(II), Zn(II), Cd(II) va Sn(II) ionlari bilan komplekslar hosil qilib, triazol halqasining S va NH guruhlari orqali bidentat koordinadorlik qilishi, Ni, Zn, Cd va Sn komplekslari tetraedrik, Cu(II) kompleksi esa kvadrat planar geometriyaga ega bo'lishi ma'lum qilingan [6].

1,2,4-triazol ligandi ko'prik sifatida ham ishlashi mumkin. Sulfonat funksional guruhiga ega triazol ligandlari bilan Mn(II), Co(II), Ni(II) va Cu(II) ionlarining trigonal lineer zanjirlari hosil

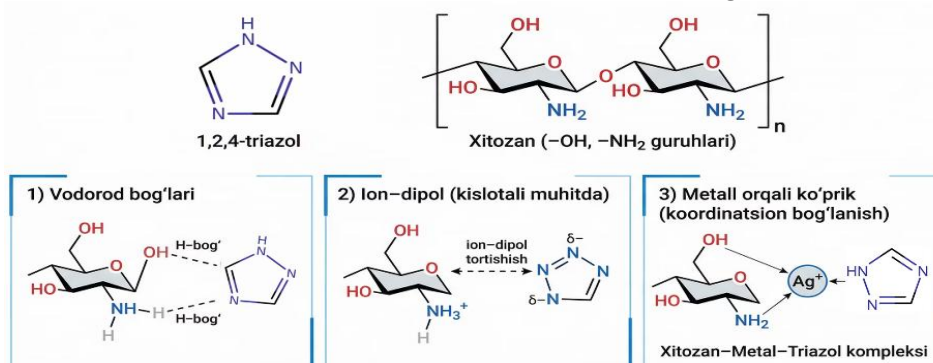
bo'lib, antiferromagnetik o'zaro ta'sirlar $J = -0,4$ K dan -45 K gacha kuzatilgan. Bunday polinuklear metall komplekslar magnit materiallar va kvant informatikasi uchun qiziqish uyg'otadi [7].



4-rasm:1.2.4 - triazaol

Xitozan va triazolning kombinatsiyasi biokompozit materiallarga yangi xususiyatlar beradi. Ultratovush yordamida Cu(I)-katalizli azid-alkin klik reaksiyasi orqali xitozanning azid hosilalariga triazol betain guruhlari ulanib, o'lchami taxminan 100 nm bo'lgan, zeta potentsiali +65 mV ga teng bo'lgan nanopartikullar hosil qilingan [8]. Ushbu nanopartikullar ampicillin va gentamitsinga teng darajada antibakterial faollik ko'rsatgan va gen tashish qobiliyati yuqori bo'lgan. Ultrasonik thiol-yne klik reaksiyasi orqali tayyorlangan triazol

betain xitozan derivatlari ham shunga o'xshash nanopartikullar hosil qiladi; yuqori darajada substitutsiyalangan polimerlarning antibakterial faolligi antibiotiklardan ustun bo'lib, ular sitotoksik emasligi qayd etilgan. Bu usullar xitozanni modifikatsiya qilishning samaradorligini oshirib, yangi biofaol polimerlarni yaratishga xizmat qiladi [9]. Klik kimyosining yana bir misoli – kalsiy, xitozan va triazol asosida tayyorlangan Ca@CS-Tz nanokompleksi bo'lib, u mis ionlari katalizida azid-alkin reaksiyasi bilan hosil qilingan. Nanokompleksga kersetin dori biriktirilib, pH ga bog'liq tarzda chiqish ko'rsatildi: pH 5 da taxminan 80,7 % va pH 7,4 da 8,69 % dori ajraldi [10]. Ca^{2+} ionlari tufayli bu kompleks suyak to'qimasi regeneratori sifatida ko'riladi hamda *E. coli*, *B. subtilis* va *A. niger* ga qarshi kuchli mikroblarga qarshi xususiyat va antioksidant faollik ko'rsatadi. Xitozan triazol nanokomplekslari dori tashuvchiligi, nazoratli chiqarish va to'qimaga spesifik yetkazish uchun istiqbolli platforma sifatida baholangan [11].



5-rasm: Xitozan va 1.2.4 – triazol bog'lanish mexanizmlari

5-Rasmda xitozan va 1,2,4-triazol molekullari o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar hamda ularning metall ionlari ishtirokida kompleks hosil qilish mexanizmlari sxematik tarzda tasvirlangan. Xitozan polimer zanjiri tarkibida gidroksil ($-\text{OH}$) va amin ($-\text{NH}_2$) funksional guruhlar mavjud bo'lib, ular triazol halqasining azot atomlari bilan turli turdagi no-kovalent va koordinatsion bog'lanishlarni yuzaga keltiradi. Rasmning birinchi qismida xitozan va 1,2,4-triazol o'rtasida vodorod bog'lar hosil bo'lishi ko'rsatilgan. Bu jarayonda xitozanning $-\text{OH}$ va $-\text{NH}$ guruhlari proton donor yoki akseptor sifatida ishtirok etib, triazol halqasidagi azot atomlari bilan H-bog'lar orqali bog'lanadi. Ushbu vodorod bog'lar tizimning molekulyar darajadagi barqarorligini oshirib, xitozan-triazol kompleksining fazoviy tuzilishini mustahkamlaydi. Rasmning ikkinchi qismida kislotali muhitda yuzaga keladigan ion-dipol o'zaro ta'sir mexanizmi aks ettirilgan. Kislotali sharoitda xitozanning amin guruhlari protonlanib $-\text{NH}_3^+$ holatiga o'tadi, natijada ular triazol halqasidagi qisman manfiy zaryadlangan azot atomlari bilan elektrostatik tortishish orqali ion-dipol bog'lanish

hosil qiladi. Ushbu mexanizm ayniqsa suvli eritmalar va past pH qiymatlarida ustun bo'lib, xitozan va triazol o'rtasidagi o'zaro ta'sirni kuchaytiradi hamda kompleksning dispers barqarorligini ta'minlaydi. Rasmning uchinchi qismida metall ionlari orqali ko'prik hosil bo'lishi, ya'ni koordinatsion bog'lanish mexanizmi ko'rsatilgan. Bu holatda metall ionlari (masalan, Ag^+) xitozanning $-\text{NH}_2$ va $-\text{OH}$ guruhlari hamda 1,2,4-triazol halqasidagi azot atomlari bilan bir vaqtda koordinatsiyalanib, xitozan–metall–triazol tipidagi uch komponentli kompleksni hosil qiladi. Metall ionining ko'prik vazifasini bajarishi natijasida tizimda uch o'lchamli koordinatsion tarmoq shakllanadi, bu esa kompozit materialning mexanik mustahkamligi, termal barqarorligi va biologik faolligini sezilarli darajada oshiradi. Natijada hosil bo'lgan xitozan–triazol–metall komplekslari mikroblarga qarshi xususiyat, dori tashuvchiligi va katalitik faollik kabi muhim funksional xossalarga ega bo'lib, biomateriallar va tibbiy qo'llanmalar uchun istiqbolli tizimlar sifatida baholanadi. Mazkur sharh ishining ilmiy yangiligi shundan iboratki, unda xitozan–kollagen–1,2,4-

triazol–metall tizimlari birinchi marta yagona funksional biomatritsa konsepsiyasi doirasida tahlil qilindi. Turli tadqiqotlar asosida no-kovalent (vodorod bog‘lari, ion–dipol va elektrostatik o‘zaro ta’sirlar) hamda koordinatsion bog‘lanishlarning sinergik ta’siri ochib berildi. Shuningdek, metall ionlari orqali hosil bo‘ladigan ko‘prikl komplekslarning mexanik barqarorlik, biofaollik va mikroblarga qarshi xususiyatlarni kuchaytirishdagi roli umumlashtirildi. Triazol guruhlar bilan modifikatsiyalangan xitozan tizimlarining dori tashuvchiligi, korroziya ingibitorligi va katalitik faolligi bo‘yicha mavjud natijalar solishtirilib, ushbu yo‘lanishlarning istiqbollari aniqlashtirildi.

Ko‘plab tadqiqotlarda xitozanning suvda eruvchanligini oshirish va biologik faolligini kuchaytirish maqsadida triazol substituentlari bog‘langan. Masalan, suvda eruvchan chitotriazolarning to‘qqizta hosilasi sintez qilinib, ularning FTIR va NMR spektrlari asosida tuzilishi tasdiqlangan hamda ularning antibakterial faolligi triazolning quaterner ammoniy guruhlar bilan bog‘liq ekani aniqlangan. Yetakchi tadqiqotlar xitozanning murakkab modifikatsiyalari (alkillangan, atsetillangan, Schiff asoslari, kvaterner ammoniy, guanidin va heterotsiklik halqalar) orqali eruvchanligi va biofaolligini oshirish bo‘yicha strategiyalarni umumlashtiradi. 1,2,4-triazol guruhlarini xitozanga qo‘shish bu polimerni suvda eruvchi, antifungal va mikroblarga qarshi xususiyat vosita sifatida foydalanish imkoniyatini beradi. Shu bilan birga, kaltsiy-xitozan-triazol, xitozan-kumush nanokompozit, triazol bilan modifikatsiyalangan xitozan kabi ko‘plab tizimlar ishlab chiqilib, ularning farmatsevtik va qishloq xo‘jaligi sohasidagi qo‘llanilishlari ko‘rsatilgan [12].

Metall kompleksli xitozan derivatlari ham keng o‘rganilgan. O-karboksimetil xitozanning Schiff bazalari bilan Cu, Zn va Ni ionlarini koordinatsiya qilishi natijasida dsp² yoki sp³ gibrid holatdagi komplekslar hosil bo‘lgan; bu komplekslar fitopatogen qo‘ziqorinlarga qarshi sezilarli faollik ko‘rsatgan – mis kompleksi 0,20 mg/mL konsentratsiyada *P. capsici* ni butunlay to‘xtatgan, nikel kompleksi esa *B. cinerea* o‘shishini 87,5 % kamaytirgan. Xitozan asosidagi Schiff bazalarining eruvchanligi va mikroblarga qarshi xususiyat faolligi ortgani haqidagi sharhlar ham bu natijalarni qo‘llab-quvvatlaydi [13]. Rux (II)-vanillin komplekslari bilan modifikatsiyalangan xitozan membranalar diabetik yaralarning bitishini tezlashtirgani kuzatilgan. Oldindan tayyorlangan oktaedrik [Zn(phen)(van)₂] kompleksi xitozan membranasi ga biriktirilib, kalamushlarda o‘tkazilgan eksperimentda kollagen tolalari zichlashib, yaralar normal to‘qima kabi bitishi va qizil-sariq birefringentsiya oshishi ko‘rsatilgan. Bu membranalar IL-1β va TNF-α kabi yallig‘lanish

sitokinlari darajasini kamaytirib, IL-10 darajasini oshirgan, shuning uchun yaralarda yallig‘lanishni bartaraf etish va kollagen to‘planishini yaxshilashga yordam bergan [12]. Ko‘pincha xitozan-kollagen kompozitlari metall ionlari va triazol ligandlari bilan birgalikda ishlatiladi. Masalan, magnetit-silikat yadrosi ustiga epixlorohidrin bilan o‘zaro bog‘langan isinglass kollageni qoplangan katalizator yaratilgan bo‘lib, uning yadrosi-qobiq tuzilishi TEM, SEM va XRD orqali tasdiqlangan. Ushbu Fe₃O₄@SiO₂/ECH/IG katalizator spirooksindol sintezida past sarflanadigan, tez reaksiya vaqtiga ega va bir necha marta qayta ishlatish mumkin bo‘lgan bifunksional katalizator sifatida ishlatilgan. Shunday qilib, kollagenni metall oksid yadrosiga biriktirish organik sintezda ham samarali [14]. Triazol asosida metall komplekslar tibbiyotda keng tadqiq qilinmoqda.

4,5-disubstitutsiyalangan-3-merkaptop-1,2,4-triazollarning Zn(II), Hg(II) va Cu(I) komplekslari karbonat angidraza I, II va IV izofermentlarini inhibisiya qilsa-da, quyonlarda ko‘z ichki bosimini pasaytirmagan. Boshqa tadqiqotlarda 3,5-diamino-1,2,4-triazol bilan Ni, Co va Zn metallari asosida trinuklear komplekslar sintez qilinib, ularning o‘rta darajada buzilgan oktaedrik koordinatsiya muhitiga ega ekani, ligandlar N-N ko‘priklari orqali ulanib, vodorod bog‘lari hosil qilgani va antifungal faollik ko‘rsatmaganligi qayd etilgan. Metal-triazol birikmalariga bag‘ishlangan so‘nggi ko‘rib chiqish maqolasi 2006-2024 yillardagi ishlarni tahlil qilib, triazol-metall komplekslari mikroblarga qarshi xususiyat, antikanser, ferment ingibitorlari va DNK bilan o‘zaro ta’sirga ega bo‘lib, metal va ligand sinergiyasi tufayli samaradorlik oshishini ko‘rsatadi. Korroziya ingibitorlari sifatida esa triazol bilan modifikatsiyalangan xitozan yuqori samaradorlikka ega: 4-amino-5-metil-1,2,4-triazol-3-tiol bilan modifikatsiyalangan xitozan karbon po‘latini 1 M HCl da 95 % dan ortiq himoya qilgan, ingibitorning yuzaga adsorbsiyasi Langmyur izotermasiga mos kelgan va DFT/MD hisoblari sinergiyani tasdiqlagan. Xususan, hisoblangan HOMO-LUMO farqi va bog‘lanish energiyasi triazolli xitozan modifikatsiyasining metall sirtga kuchli bog‘lanishini ko‘rsatadi [15].

Yuqorida keltirilgan tadqiqotlar xitozan-kollagen va 1,2,4-triazol asosida metall komplekslarning ko‘p qirrali qo‘llanilishlarini ko‘rsatadi. Kollagen bilan boyitilgan xitozan yaralarni muolaja qilish, to‘qima muhandisligi va kosmetologiyada samarali; metall va triazol ligandlari bilan modifikatsiyalangan xitozan esa mikroblarga qarshi xususiyat, korroziya ingibitori, katalizator va dori tashuvchi sifatida foydali. Polimerning amin va gidroksil guruhlar metall

ionlarini chelate qilishi, triazol halqasining azot va oltingugurt atomlari bilan koordinatorlik qobiliyati hamda kollagenning tabiiy biofaolligi bunday materiallarning samarali ishlashiga asos bo'ladi [16].

Xulosa. Xitozanni triazolga bog'lash uchun klik-kimyo (CuAAC, thiol-yne) reaksiyalari samarali bo'lib, suvda eriydigan, quaternary ammoniy yoki betain guruhli derivatlar sintezini osonlashtiradi. Kelgusida 4D bioprinting, biomineralizatsiya va nanoo'lchamli kataliz sohalarida bunday kompozitlarning qo'llanilishini chuqurroq o'rganish, biotibbiy xavfsizlik va samaradorlikni baholash muhim hisoblanadi. O'tkazilgan tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, xitozan va kollagen o'rtasidagi elektrostatik, vodorod va gidrofob o'zaro ta'sirlar biomatritsining

asosiy barqarorligini ta'minlaydi, 1,2,4-triazol ligandlari esa metall ionlari bilan mustahkam koordinatsion komplekslar hosil qilish orqali tizimning funksional xususiyatlarini sezilarli darajada kengaytiradi. Metall ionlarining ko'pri vazifasini bajarishi natijasida uch o'lchamli tarmoqlangan strukturalar shakllanib, bunday materiallar yara bitishini tezlashtiruvchi biomateriallar, nazoratli dori tashuvchi tizimlar, mikroblarga qarshi qoplamalar va korroziya ingibitorlari sifatida yuqori amaliy ahamiyatga ega ekanligi aniqlanadi. Kelgusida xitozan-kollagen-triazol-metall komplekslarini 4D bioprinting, regenerativ tibbiyot va nanoo'lchamli kataliz sohalarida qo'llash imkoniyatlarini chuqurroq o'rganish ilmiy va amaliy jihatdan muhim hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ixtiyarova, G. A. (2018). Extraction of chitin and chitosan from died honey bee *Apis mellifera*. *Materials of International Scientific Conference, Kazakhstan*, 135–140.
2. Kurbonova, F. N., Ixtiyarova, G. A., Grigoryan, A., Xudonazarova, G. A., & Avilova, O. (2025). Physicochemical and biological properties of O-carboxymethyl chitosan obtained from chitosan of dead bees. *Innovative Medicine of Kuban*.
3. Azarnier, S. G., Esmkhani, M., Dolatkah, Z., & Javanshir, S. (2022). Collagen-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles as a sustainable catalyst for spirooxindole synthesis. *Scientific Reports*, 12(1), 6104. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10102-5>
4. Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Sorour, A. A., Saha, S. K., & Banerjee, P. (2019). Triazole-modified chitosan: a biomacromolecule as a new environmentally benign corrosion inhibitor for carbon steel in a hydrochloric acid solution. *RSC Advances*, 9(26), 14990–15003. <https://doi.org/10.1039/c9ra00986h>
5. D, P. M., Chawla, R., & Dutta, P. K. (2023). 'Click' synthesized calcium-chitosan-triazole nanocomplex from CaC₂ as an efficient drug carrier, antimicrobial and antioksidant polymer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240, 124290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124290>
6. De Aragão Tavares, E., De Medeiros, W. M. T. Q., De Assis Pontes, T. P., Barbosa, M. M., De Araújo, A. A., De Araújo, R. F., Figueiredo, J. G., Leitão, R. C., Da Silva Martins, C., Da Silva, F. O. N., De Brito Pontes, A. C. F., De Lima Pontes, D., & De Medeiros, C. A. C. X. (2019). Chitosan membrane modified with a new Zinc(II)-Vanillin complex improves skin wound healing in diabetic rats. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1511. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01511>
7. Haddad, R., Yousif, E., & Ahmed, A. (2013). Synthesis and characterization of transition metal complexes of 4-Amino-5-pyridyl-4H-1,2,4-triazole-3-thiol. *SpringerPlus*, 2(1), 510. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-510>
8. Hua, Y., Ma, C., Wei, T., Zhang, L., & Shen, J. (2020). Collagen/Chitosan complexes: preparation, antioksidant activity, tyrosinase inhibition activity, and melanin synthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(1), 313. <https://doi.org/10.3390/ijms21010313>
9. Huang, J., Dong, H., Li, L., Kong, L., & Hu, Z. (2025). Chitosan-collagen composite biomaterials: Advances and insights into properties and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 320(Pt 4), 146031. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.146031>
10. Iacopetta, D., Catalano, A., Ceramella, J., Mariconda, A., D'Amato, A., Checconi, P., Aquaro, S., Longo, P., & Sinicropi, M. S. (2025). Chitosan-Based Schiff Bases (CSBs) and their metal complexes: promising antimicrobial agents. *Molecules*, 30(2), 207. <https://doi.org/10.3390/molecules30020207>
11. Kanwal, S., Bibi, S., Haleem, R., Waqar, K., Mir, S., Maalik, A., Sabahat, S., Hassan, S., Awwad, N. S., Ibrahim, H. A., & Alturaifi, H. A. (2024). Functional potential of chitosan-metal nanostructures: Recent developments and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282(Pt 2), 136715. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136715>
12. Kritchenkov, A. S., Egorov, A. R., Dysin, A. P., Volkova, O. V., Zabodalova, L. A., Suchkova, E. P., Kurliuk, A. V., & Shakola, T. V. (2019). Ultrasound-assisted Cu(I)-catalyzed azide-alkyne click cycloaddition as polymer-analogous transformation in chitosan chemistry. High antibacterial and transfection activity of novel triazol betaine chitosan derivatives and their nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 592–603. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.190>
13. Moneo-Corcuera, A., Pato-Doldan, B., Sánchez-Molina, I., Nieto-Castro, D., & Galán-Mascarós, J. R. (2021). Crystal Structure and Magnetic Properties of Trinuclear Transition Metal Complexes (MnII, CoII, NiII and CuII) with Bridging Sulfonate-Functionalized 1,2,4-Triazole Derivatives. *Molecules*, 26(19), 6020. <https://doi.org/10.3390/molecules26196020>
14. Rathinam, S., Magdadaro, R., Hjälmarsdóttir, M. A., & Måsson, M. (2024). Water-Soluble quaternary and protonable basic chitotriazolans: synthesis by click chemistry conversion of chitosan azides and investigation of antibacterial activity. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(3), 63. <https://doi.org/10.3390/jfb15030063>
15. Salahuddin, N., Elbarbary, A. A., Salem, M. L., & Elksass, S. (2016). Chitosan nanoparticles as a drug delivery system for 1,2,4-Triazole derivatives: release and antimicrobial activity. *Journal of Advance Research in Pharmacy & Biological Science (ISSN 2208-2360)*, 2(4), 141–152. <https://doi.org/10.53555/nnpbs.v2i4.755>
16. Shrestha, R., Thenissery, A., Khupse, R., & Rajashekara, G. (2023). Strategies for the preparation of chitosan derivatives for antimicrobial, drug delivery, and agricultural applications: a review. *Molecules*, 28(22), 7659. <https://doi.org/10.3390/molecules28227659>

Abdullayev F.K., Yuldoshev O.Ch., Chorshanbiyev Sh.M., To'rayev A.N., Kholmatov E.M., Abdusamadova O.A., Khojimukhamedova L.T., Suvonova M.Y. Analysis of the chemical composition of 300X28H2Л white cast iron	132
Xandamov D.A., Xoliqulov B.N., Eshqulov X.O'., Bekmirzayev A.Sh., Xonqulov Sh.B. Adsorbsiya experimental tajribalarining aniqligini turli xatolik funksiyalari yordamida tahlil qilish	136
Рўзиқулов Қ.М., Сайназаров А.М., Икрамова М.Э. Рух кекини вельцлашда ҳосил бўладиган хомаки вельц оксиди таркибли маҳсулотларни ўрганиш	139
Драбкова Т.В., Абдугалипова Н.М., Рахматуллаев Ф.Н., Исанова Р.Р. Технология ионообменной очистки сточных вод и регенерации амфолита АКА-Т на пилотной установке ИОУ-4Ф	142
Kodirov O., Safarov T. Synthesis of corrosion inhibitor based on p-phenylenediamine, formalin, and alanine and its inhibition efficiency by electrochemical method	144

6. Проблемные обзоры

Абед Ф.Ж., Иногамов С.Е., Туреева Г.А. Полимерные лекарственные пленки: свойства, классификация и перспективы применения в медицине	149
Расулов А.Х., Умирзакова Ф.Б. Турдимуродов Ш.З. “Дехқонобод калий ўғитлар заводи” корхонаси учун конвейер роликларини ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш	153
Ихамов М.А., Munosibov Sh.M., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A. Tarkibida rux oksidi bo'lgan po'lat eritish changlarini koks yordamida tiklash jarayonining tadqiqoti	156
Umurova Sh.Sh. Mahalliy xom-ashyolardan sorbentlar olish jarayoniga haroratning ta'siri	158
Karabayeva G.B., Yaxshiyeva Z.Z., Shukurova N.R., Nurmatova F.U. Nikel (II) ionining O-nitrozofenol bilan kompleks hosil bo'lishini elektrokimyoviy usulda aniqlash	161
Xalilov M.N., Mengpo'latov A.F. Burg'ilash eritmasining xususiyatlarini nazorat qilish uchun ko'p qatlamli polimer struktura hosil qiluvchi agentlarni o'rganish	164
Рашидова К.Х., Акбаров Х.И., Тургунов А.И., Абдирахмонова У.Х., Умарова Н.А., Тайланова З.Р. Синтез и свойства биметаллического фосфида Ni-Fe-P как эффективные электрокатализатор для расщепления воды	166
Abdirazakov A.I., Turdiyev F.R. Temir ajratib olish bilan misni boyitish zavodini chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish	169
Jalilov Sh.N. Mochevina-formaldegid smolasini melamin va gossipol smolasi asosida olingan yelimlovchi-bog'lovchining rentgenografik, SEM va TGA tahlil usullari yordamida o'rganish	172
Рахимов Х.Ю., Абдурахманова С.П., Билалова Д.Ж., Фозилова З.Ш., Сонаев С.Н. Исследование влияния органоминеральных ингредиентов на физико-химические, механические и эксплуатационные свойства композиционных лакокрасочных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности	174
Yusupova S.Yu., Kamalova D.I. Tarkibida organik to'ldiruvchisi bo'lgan kompozitsion materiallarning fizik-mexanik xossalari	177
Navruzov F.M., Negmatov S.S., Asqorov M.M. Epoksi polimer va poliuretan polimerlariga asoslangan polimer kompozitlarining tebranishni susaytiruvchi qovushqoq-elastik xususiyatlarini o'rganish metodologiyasini tadqiq qilish va ishlab chiqish	180
Abdirazakov A.I., Turdiyev Sh.Sh., Halimov Sh.K. Oltin va kumushlarni kompleks ravishda ajratib olish bilan misni boyitish zavodi chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish	182
Ixtiyarova G.A., Sharopov J.M. Xitozan-kollagen va 1,2,4-triazol asosida metall komplekslar: zamonaviy tadqiqotlar tahlili	185
Togaev U., Turaev A., Matchanov A. Turning termites into carriers: low-dose fipronil spread via social contact in microcerotermes turkmenicus	190
Bo'rixonov B., Gulova M., Panjiyev A. Etilenxlorgidrin hosilalari asosida kvaterner ammoniy-xitozan tizimlarini yaratish va ularning funksional xossalari	193