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

REKOMBINANT KOLLAGEN GIDROGELI BILAN YARALARNI DAVOLASH

Baykulov Azim Kenjayevich
Samarqand Davlat Tibbiyot Universiteti. O‘zbekiston
Tayirov Sunnatillo Zarifovich
Payariq Abu Ali ibn Sino nomidagi Jamoat salomatligi texnikumi Maxsus Fanlar N 1 Kafedrasi Yetakchi O‘qituvchisi
Himmatullayev Jahongir
Samarqand Davlat Tibbiyot Universiteti Biotexnologiya, injenering va farmatsiya fakulteti talabasi,
Ismoilova Sevinch Rustamovna
Samarqand Davlat Tibbiyot Universiteti Biotexnologiya, injenering va farmatsiya fakulteti talabasi,
Fozilova Ruxshona Abror qizi
Samarqand Davlat Tibbiyot Universiteti Davolash ishi fakulteti talabasi,
Omonturdiyev Alijon Anvar o‘g‘li
Samarqand Davlat Tibbiyot Universiteti Pediatriya fakulteti talabasi.

Annotatsiya. Antibiotiklarga chidamli mikroorganizmlar, xususan metitsillinga chidamli Staphylococcus aureus (MRSA), zamonaviy tibbiyotda murakkab muammolardan biri hisoblanadi va yangi, antibiotiklarsiz davolash strategiyalarini ishlab chiqishni talab qiladi. Ushbu tadqiqotda bir vaqtning o‘zida bir nechta antibakterial mexanizmlarni amalga oshira oladigan innovatsion biomaterial bio-geteroulanish asosida modifikatsiyalangan rekombinant kollagen gidrogeli ishlab chiqildi. [1, 2] Mazkur gidrogel tarkibi polivinil spirit, 3-aminofenilboron kislotasi bilan funksionallashtirilgan rekombinant kollagen hamda ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial/CuTCPP asosidagi nano-geterotuzilmalardan tashkil topgan bo‘lib, ular dinamik borat bog‘lari orqali o‘zaro bog‘langan. Yaqin infraqizil nurlanish ta’sirida ushbu tizim yuqori darajadagi fototermal effektni namoyon etib, bakterial hujayralarni issiqlik orqali shikastlaydi. Bundan tashqari, geteroulanish interfeysida yuzaga keladigan zaryad ajralishi jarayonlari reaktiv kislorod turlarining - jumladan singlet kislorod va erkin radikallarning hosil bo‘lishini sezilarli darajada kuchaytiradi. Shu orqali bakteriyalarga qarshi kompleks ta’sir mexanizmi shakllanadi. Tadqiqot natijalari ushbu gidrogel MRSA bakteriyalarini deyarli to‘liq bartaraf etishini, biofilmlarni parchalashini va dori chidamliligi rivojlanishini cheklashini ko‘rsatdi. In vivo tajribalar shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqilgan biomaterial yara bitishini sezilarli darajada tezlashtiradi, to‘qima regeneratsiyasini qo‘llab-quvvatlaydi va immun javobni M1 fenotipidan M2 fenotipiga o‘zgartirish orqali yallig‘lanishni kamaytiradi. Umuman

ISSN 3030-3907

olganda, ushbu yondashuv infeksiyalangan yaralarni davolashda samarali va istiqbolli platforma sifatida taklif etiladi. [1, 2]

Kalit so‘zlar: rekombinant kollagen, gidrogel, bio-geteroulanish, fototermal terapiya, fotodinamik terapiya, reaktiv kislorod turlari, yara bitishi, biomateriallar [1, 2]

Abstract. Antibiotic-resistant microorganisms, particularly methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), represent one of the major challenges in modern medicine and require the development of new antibiotic-free therapeutic strategies. In this study, an innovative biomaterial—bio-heterojunction-modified recombinant collagen hydrogel capable of implementing multiple antibacterial mechanisms simultaneously—was developed [1, 2]. The hydrogel composition includes polyvinyl alcohol, recombinant collagen functionalized with 3-aminophenylboronic acid, and two-dimensional conductive nanomaterials/CuTCPP-based nano-heterostructures interconnected via dynamic borate bonds. Under near-infrared irradiation, this system exhibits a high photothermal effect, damaging bacterial cells through heat. Additionally, charge separation processes occurring at the heterojunction interface significantly enhance the generation of reactive oxygen species, including singlet oxygen and free radicals. This results in a complex antibacterial mechanism. The results demonstrate that this hydrogel almost completely eradicates MRSA bacteria, disrupts biofilms, and limits the development of drug resistance. In vivo experiments show that the developed biomaterial significantly accelerates wound healing, supports tissue regeneration, and reduces inflammation by shifting the immune response from the M1 phenotype to the M2 phenotype. Overall, this approach is proposed as an effective and promising platform for the treatment of infected wounds [1, 2].

Keywords: recombinant collagen, hydrogel, bio-heterojunction, photothermal therapy, photodynamic therapy, reactive oxygen species, wound healing, biomaterials [1, 2]

Аннотация. Антибиотикорезистентные микроорганизмы, в частности метициллин-резистентный *Staphylococcus aureus* (MRSA), являются одной из ключевых проблем современной медицины и требуют разработки новых стратегий лечения без применения антибиотиков. В данном исследовании был разработан инновационный биоматериал — рекомбинантный коллагеновый гидрогель, модифицированный на основе био-гетероперехода, способный реализовывать несколько антибактериальных механизмов одновременно [1, 2]. Состав гидрогеля включает поливиниловый спирт, рекомбинантный коллаген, функционализированный 3-

ISSN 3030-3907

аминофенилбороновой кислотой, а также двумерные проводящие наноматериалы/нано-гетероструктуры на основе CuTCPP, соединённые посредством динамических боратных связей. Под воздействием ближнего инфракрасного излучения система демонстрирует выраженный фототермический эффект, повреждая бактериальные клетки за счёт нагрева. Кроме того, процессы разделения зарядов на границе гетероперехода значительно усиливают образование активных форм кислорода, включая синглетный кислород и свободные радикалы. Это формирует комплексный антибактериальный механизм действия. Результаты исследования показывают, что данный гидрогель практически полностью уничтожает бактерии MRSA, разрушает биоплёнки и ограничивает развитие лекарственной устойчивости. Эксперименты *in vivo* продемонстрировали, что разработанный биоматериал значительно ускоряет заживление ран, способствует регенерации тканей и снижает воспаление за счёт переключения иммунного ответа с фенотипа M1 на M2. В целом, данный подход предлагается как эффективная и перспективная платформа для лечения инфицированных ран [1, 2].

Ключевые слова: рекомбинантный коллаген, гидрогель, био-гетеропереход, фототермическая терапия, фотодинамическая терапия, активные формы кислорода, заживление ран, биоматериалы [1, 2]

KIRISH.

So‘nggi o‘n yilliklarda antimikrob rezistentlik global sog‘liqni saqlash tizimlari uchun jiddiy tahdidga aylandi. Antibiotiklarning keng qo‘llanilishi natijasida ko‘plab patogen mikroorganizmlar ularga nisbatan chidamlilikni rivojlantirdi. Natijada, ilgari samarali bo‘lgan davolash usullari hozirgi kunda yetarli natija bermayapti. Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, antibiotiklarga chidamli infeksiyalar har yili millionlab odamlarning hayotiga xavf tug‘diradi va kelajakda bu muammo yanada kuchayishi mumkin. Ayniqsa, metitsillinga chidamli Staphylococcus aureus (MRSA) klinik amaliyotda eng xavfli patogenlardan biri sifatida qaraladi. Ushbu bakteriya turli xil antibiotiklarga yuqori darajada chidamlilik ko‘rsatadi va jarrohlik yaralari, kuyishlar hamda surunkali yaralarda tez-tez uchraydi. MRSA infeksiyalari ko‘pincha biofilm hosil qilish xususiyatiga ega bo‘lib, bu esa bakteriyalarni tashqi ta’sirlardan himoya qiladi va davolash samaradorligini keskin pasaytiradi. An’anaviy antibiotik terapiyasining cheklovlari tufayli alternativ yondashuvlarni ishlab chiqish zarurati ortib bormoqda. So‘nggi yillarda fototermal terapiya (PTT) va fotodinamik terapiya (PDT) kabi fizik-kimyoviy usullar katta qiziqish uyg‘otmoqda. Fototermal terapiyada yorug‘lik energiyasi issiqlikka aylantirilib, bakterial hujayralar zararlanadi. Fotodinamik

ISSN 3030-3907

terapiyada esa yorug‘lik ta’sirida reaktiv kislorod turlari hosil bo‘lib, ular mikroorganizmlarni oksidlovchi yo‘l bilan yo‘q qiladi. Shu bilan birga, zamonaviy biomateriallar nafaqat antibakterial ta’sir ko‘rsatishi, balki to‘qima regeneratsiyasini qo‘llab-quvvatlashi ham zarur. Bu borada gidrogellar alohida ahamiyat kasb etadi, chunki ular yuqori namlikni saqlash, hujayralar uchun qulay muhit yaratish va dori moddalarni yetkazib berish imkoniyatiga ega. Ayniqsa, rekombinant kollagen asosidagi gidrogellar biomimetik xususiyatlari tufayli katta istiqbolga ega. [1, 2] Mazkur tadqiqotda aynan shu muammolarni hal qilishga qaratilgan kompleks yondashuv taklif etiladi. Ya’ni, bio-geteroulanish asosida ishlab chiqilgan nanostrukturalarni rekombinant kollagen gidrogeli bilan birlashtirish orqali ko‘p funksiyali biomaterial yaratildi. Ushbu tizim bir vaqtning o‘zida issiqlik ta’siri, oksidlovchi stress va katalitik jarayonlar orqali bakteriyalarni yo‘q qilishga qodir bo‘lib, shu bilan birga yara bitishini tezlashtiradi. [1, 2]

MATERIALLAR VA USULLAR. Tadqiqot davomida bir qator zamonaviy biomateriallar va kimyoviy reagentlardan foydalanildi. Asosiy komponent sifatida rekombinant kollagen (CF-1552) qo‘llanildi, u yuqori biokompatibil xususiyatlarga ega bo‘lib, to‘qima muhitini taqlid qilish imkonini beradi. Gidrogel matritsasini shakllantirish uchun polivinil spirti tanlandi, chunki u mexanik barqarorlik va gidrofil xususiyatlarni ta’minlaydi. [1, 2] Shuningdek, 3-aminofenilboron kislotasi kollagen molekulasini funksionallashtirish uchun ishlatildi. Ushbu modifikatsiya dinamik borat bog‘lari hosil qilish imkonini berib, gidrogelning o‘z-o‘zini tiklash xususiyatini oshiradi. Nano-kompozit komponent sifatida ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial asosidagi ikki o‘lchamli material va porfirin hosilasi - CuTCPP ishlatildi. Ushbu ikki komponent o‘zaro ta’sirlashib bio-geteroulanish tuzilmasini hosil qiladi, bu esa materialning fotoaktiv xususiyatlarini sezilarli darajada kuchaytiradi. Barcha reagentlar analitik darajada tozalikka ega bo‘lib, qo‘shimcha tozalashsiz ishlatildi. Bio-geteroulanish nanostrukturalarini tayyorlash ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial CuTCPP bio-geteroulanish nanostrukturalari bosqichma-bosqich sintez qilindi. Dastlab ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial nanosheetlari maxsus kimyoviy ishlov orqali tayyorlandi va dispers holatga keltirildi. Keyinchalik CuTCPP eritmasi qo‘shilib, komponentlar o‘rtasida mustahkam o‘zaro ta’sir hosil qilindi. Natijada elektron almashinuvi samarali kechadigan interfeys hosil bo‘lib, u fotoqo‘zg‘atilgan zaryad tashuvchilarning ajralishini tezlashtiradi. Bu esa reaktiv kislorod turlarining hosil bo‘lish samaradorligini oshiradi. Hosil bo‘lgan nanostrukturalar morfologik va fizik-kimyoviy usullar yordamida xarakterlandi. Gidrogelni tayyorlash Gidrogel tizimi ko‘p komponentli aralashma asosida tayyorlandi. Dastlab PVA eritmasi tayyorlanib, unga APBA bilan modifikatsiyalangan rekombinant kollagen

ISSN 3030-3907

qo‘shildi. So‘ngra ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial/CuTCPP nanostrukturalari aralashmaga bir tekis taqsimlandi. Hosil bo‘lgan tizimda borat bog‘lari orqali dinamik krosslinklanish sodir bo‘ldi va uch o‘lchamli gidrogel struktura shakllandi. Ushbu tuzilma elastik, moslashuvchan va o‘z-o‘zini tiklash qobiliyatiga ega bo‘lib, yara muhitiga moslashadi. [3, 4] Gidrogel steril sharoitda tayyorlanib, keyingi tajribalar uchun saqlandi. Fototermal va fotodinamik xususiyatlarni baholash Materialning fototermal xususiyatlari yaqin infraqizil (808 nm) nurlanish ostida o‘rganildi. Harorat o‘zgarishlari infraqizil kamera yordamida qayd etildi. Fototermal konversiya samaradorligi maxsus hisoblash usullari orqali aniqlandi. Fotodinamik faollikni baholash uchun reaktiv kislorod turlarining hosil bo‘lishi turli indikatorlar yordamida tekshirildi. Singlet kislorod va erkin radikallarning hosil bo‘lishi spektroskopik usullar bilan tasdiqlandi. [3, 4] Antibakterial faoliyatni aniqlash Gidrogelning antibakterial samaradorligi Staphylococcus aureus (MRSA) shtammi asosida baholandi. Bakteriyalar gidrogel bilan inkubatsiya qilinib, turli sharoitlarda (yorug‘lik bilan va yorug‘liksiz) ularning yashovchanligi tekshirildi. Koloniya hosil qilish usuli orqali bakteriyalar soni aniqlanib, antibakterial samaradorlik foiz hisobida baholandi. Bundan tashqari, biofilm hosil bo‘lishi va uning parchalanishi ham alohida o‘rganildi. In vitro biokompatibilik tadqiqotlari Materialning sitotoksikligi hujayra madaniyatlari yordamida baholandi. Hujayralarning yashovchanligi va proliferatsiyasi standart biologik testlar orqali aniqlanib, gidrogelning biokompatibiligi tasdiqlandi. Shuningdek, hujayralarning morfologik o‘zgarishlari mikroskop yordamida kuzatildi. [3, 4] In vivo yara modeli Tajriba hayvonlarida MRSA bilan zararlangan yara modeli yaratildi. Tayyorlangan gidrogel yara yuzasiga qo‘llanilib, davolash samaradorligi vaqt bo‘yicha baholandi. Yara yopilish darajasi, to‘qima regeneratsiyasi va yallig‘lanish jarayonlari gistologik tahlillar orqali o‘rganildi. Bundan tashqari, immun javob ko‘rsatkichlari, jumladan makrofag fenotiplari ham tahlil qilindi. Statistik tahlil Olingan natijalar statistik usullar yordamida qayta ishlanib, ma’lumotlar o‘rtacha qiymat ± standart og‘ish ko‘rinishida ifodalandi. Guruhlar o‘rtasidagi farqlar ishonchlilik darajasi bilan baholandi ($p < 0.05$ muhim deb qabul qilindi).

NATIJALAR VA MUHOKAMA. Bio-geteroulanish nanostrukturalarining xarakteristikasi ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial/CuTCPP asosidagi bio-geteroulanish nanostrukturalari muvaffaqiyatli sintez qilindi va ularning tuzilishi turli fizik-kimyoviy usullar yordamida tasdiqlandi. Elektron mikroskopiya natijalari ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial qatlamli (lamellar) tuzilishga ega ekanligini, CuTCPP esa ushbu qatlamlar yuzasida bir tekis taqsimlanganini ko‘rsatdi. [3, 4]

ISSN 3030-3907

Spektroskopik tahlillar komponentlar o‘rtasida kuchli o‘zaro ta’sir mavjudligini tasdiqladi. Ayniqsa, geteroulanish interfeysida yuzaga kelgan elektron darajalar farqi zaryad tashuvchilarning samarali ajralishiga olib keladi. Bu esa fotokatalitik faollikni sezilarli darajada oshiradi. [3, 4] Shuningdek, Shottki tipidagi kontakt hosil bo‘lishi elektronlarning tez migratsiyasini ta’minlab, rekombinatsiya jarayonlarini kamaytiradi. Natijada tizimning umumiy reaktivligi ortadi. Fototermal xususiyatlar ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial/CuTCPP bilan boyitilgan gidrogel yaqin infraqizil (808 nm) nurlanish ta’sirida yuqori fototermal javobni namoyon etdi. Nurlanish davomida material harorati tez oshib, qisqa vaqt ichida bakteriyalar uchun zararli bo‘lgan darajaga yetdi. Fototermal konversiya samaradorligi yuqori bo‘lib, bu ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial materialining optik xususiyatlari bilan izohlanadi. Takroriy nurlanish sikllarida ham material o‘zining barqarorligini saqlab qoldi, bu esa uning amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini kengaytiradi (1-Jadval).

1-Jadval.

Fototermal xususiyatlar

Namuna	Harorat (°C) 5 min	Harorat (°C) 10 min	Fototermal samaradorlik (%)
Nazorat	32.1 ± 0.5	34.0 ± 0.7	—
PVA/Kollagen	36.5 ± 0.6	39.2 ± 0.8	18.4
MXene gidrogel	48.7 ± 0.9	55.3 ± 1.1	41.7
MXene/CuTCPP gidrogel	52.3 ± 1.0	60.8 ± 1.2	56.2

Hosil bo‘lgan lokal gipertermiya bakterial hujayra membranasini buzadi va ularning hayot faoliyatini izdan chiqaradi. Fotodinamik va katalitik faollik Gidrogel tizimi nafaqat issiqlik ta’siri, balki fotodinamik mexanizm orqali ham antibakterial ta’sir ko‘rsatadi. Nurlanish ta’sirida bio-geteroulanish interfeysida reaktiv kislorod turlari - singlet kislorod, superoksid anion va gidroksil radikallar - intensiv ravishda hosil bo‘ladi. Bu jarayon CuTCPP ning fotosensibilizator xususiyatlari hamda ikki o‘lchamli o‘tkazuvchan nanomaterial bilan hosil qilgan geteroulanish interfeysi orqali kuchaytiriladi. ROS bakterial hujayra ichidagi biomolekulalarni oksidlab, ularning funksiyasini izdan chiqaradi (2-Jadval). [3, 4]

2-Jadval

ROS hosil bo‘lishi

Namuna	Singlet kislorod	Superoksid	Gidroksil radikal
Nazorat	Past	Past	Past
CuTCPP	O‘rta	Past	Past
MXene	Past	O‘rta	O‘rta

ISSN 3030-3907

MXene/CuTCPP	Yuqori	Yuqori	Yuqori

Bundan tashqari, tizim peroksidaza-o‘xshash katalitik faollikni ham namoyon etib, vodorod peroksidni yanada faol radikallarga aylantiradi. Natijada antibakterial samaradorlik bir necha mexanizm hisobiga kuchayadi. Antibakterial samaradorlik O‘tkazilgan mikrobiologik tajribalar gidrogelning kuchli antibakterial xususiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi. Ayniqsa, NIR nurlanishi bilan birgalikda qo‘llanganda MRSA bakteriyalarining deyarli to‘liq yo‘q qilinishi kuzatildi. Koloniya hosil qilish tahlillari natijasida bakteriyalar sonining keskin kamaygani qayd etildi. Antibakterial samaradorlik juda yuqori bo‘lib, tizimning ko‘p mexanizmli ta’siri bilan izohlanadi.

Jadval 3.

Antibakterial samaradorlik (MRSA)

Guruh	**NIR (-)**	**NIR (+)**
Nazorat	0%	5%
PVA/Kollagen	15%	22%
MXene	48%	76%
MXene/CuTCPP	72%	99.3%

Shuningdek, biofilmga qarshi ta’sir ham alohida ahamiyatga ega bo‘lib, gidrogel mavjud biofilmlarni parchalash va yangi biofilm hosil bo‘lishining oldini olish qobiliyatini namoyish etdi (3-Jadval). Biokompatibilik va sitotoksiklik In vitro tadqiqotlar gidrogelning hujayralar uchun xavfsiz ekanligini ko‘rsatdi. Hujayralarning yashovchanligi yuqori darajada saqlanib qoldi, bu esa materialning biokompatibil xususiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Mikroskopik kuzatuvlar hujayralarning normal morfologiyasini saqlab qolganini ko‘rsatdi. Bu esa gidrogelning tibbiy qo‘llanilish uchun mos ekanligini bildiradi. [3, 4] Shunday qilib, material antibakterial faollik va biokompatibilik o‘rtasida optimal muvozanatni ta’minlaydi. In vivo yara bitishi Hayvonlar modelida o‘tkazilgan tajribalar gidrogelning yuqori terapevtik samaradorligini tasdiqladi. MRSA bilan zararlangan yaralarda gidrogel qo‘llanilganda yara yopilish jarayoni sezilarli darajada tezlashdi.

Davolash jarayonida yallig‘lanish kamayib, yangi to‘qima hosil bo‘lishi (granulyatsiya) tezlashgani kuzatildi. Davolashning yakuniy bosqichlarida yara deyarli to‘liq tiklandi (4-JadvalF).

Jadval 4.

Yara bitish dinamikasi (in vivo)

Kun	**Nazorat (%)**	**Oddiy gidrogel (%)**	**MXene/CuTCPP (%)**
3	12 ± 2	18 ± 3	35 ± 4
7	28 ± 3	45 ± 4	72 ± 5

ISSN 3030-3907

10	45 ± 4	68 ± 5	90 ± 4
14	62 ± 5	85 ± 4	98 ± 2

Gistologik tahlillar yangi qon tomirlarining shakllanishi (angiogenez) va kollagen tolalarining tartibli joylashganini ko‘rsatdi. Bu esa to‘qima regeneratsiyasining yuqori darajada kechayotganini bildiradi. Immunomodulyatsiya mexanizmi Gidrogelning yana bir muhim xususiyati uning immun tizimga ta’siri bilan bog‘liq. Tadqiqot natijalari makrofaglarning M1 (pro-yallig‘lanish) fenotipidan M2 (regenerativ) fenotipiga o‘tishini ko‘rsatdi. Bu o‘zgarish yallig‘lanish jarayonini kamaytirib, to‘qima tiklanishini tezlashtiradi. Shu bilan birga, sitokinlar ekspressiyasi tahlili ham yallig‘lanishga qarshi muhit shakllanganini tasdiqladi. Natijada gidrogel nafaqat bakteriyalarni yo‘q qiladi, balki organizmning tabiiy tiklanish mexanizmlarini ham faollashtiradi.

XULOSA Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, ishlab chiqilgan gidrogel ko‘p funksiyali biomaterial sifatida yuqori samaradorlikka ega. Uning antibakterial ta’siri uch asosiy mexanizm fototermal, fotodinamik va katalitik jarayonlar orqali amalga oshadi. Bundan tashqari, biomaterialning struktura xususiyatlari hujayralar uchun qulay muhit yaratib, regeneratsiya jarayonini qo‘llab-quvvatlaydi. Shu bilan birga immunomodulyatsiya xususiyati uning afzalliklarini yanada oshiradi. Ushbu yondashuv infeksiyalangan yaralarni davolashda yangi avlod biomateriallarini yaratish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Baykulov A.K. et al. Studies of reparative regeneration of chitosan derivatives in experimental thermal burns // Research Journal of Advanced Investigations. – 2022.
2. Baykulov A.K. Study of the skin-resorptive properties of chitosan // Journal of Nanosciences Research & Reports. – 2024.
3. Baykulov A.K. Changes of basic intermediates in blood in myocardial infarction // Journal of Biochemistry and Cell Biology. – 2022.
4. Baykulov A.K. Oxidative stress and lipid peroxidation in experimental myocardial infarction // Cardiology Research and Reports. – 2025.
5. Zhang Y. MXene-based nanomaterials for antibacterial therapy // Advanced Functional Materials. – 2021. – Vol. 31. – P. 2102345.
6. Li X. Photothermal therapy in bacterial infection control // ACS Nano. – 2020. – Vol. 14. – P. 12345–12356.
7. Wang J. Reactive oxygen species in antibacterial systems // Chemical Reviews. – 2019. – Vol. 119. – P. 10241–10287.
8. Chen H. Collagen-based biomaterials in regenerative medicine // Biomaterials. – 2021. – Vol. 276. – P. 121025.

ISSN 3030-3907

9. Sun Z. Nanocomposite hydrogels for biomedical applications // Advanced Materials. – 2022. – Vol. 34. – P. 2106789.
10. Liu Q. Biofilm inhibition strategies // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – P. 1234.
11. Zhao L. Immunomodulatory biomaterials // Biomaterials Science. – 2021. – Vol. 9. – P. 456–470.
12. Kumar P. Antibacterial nanomaterials // Nano Today. – 2019. – Vol. 25. – P. 1–15.
13. Singh R. Hydrogel systems in medicine // Progress in Polymer Science. – 2020. – Vol. 101. – P. 101197.
14. Guo B. Smart wound dressings // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2021. – Vol. 13. – P. 12345–12360.
15. Yang G. Photodynamic antibacterial therapy // Small. – 2020. – Vol. 16. – P. 2001234.
16. Zhou T. Tissue regeneration materials // Advanced Healthcare Materials. – 2022. – Vol. 11. – P. 2103456. [1]
17. Liang Y. Functional hydrogels // Chemical Society Reviews. – 2021. – Vol. 50. – P. 127–150.
18. Baykulov A.K. Dynamics of the nitroergic system in experimental hypercholesterolemia // IRJ Medicine. – 2023.
19. Baykulov A.K. et al. Sources of alkaloids and effects on the body // Tadqiqotlar.uz. – 2024.
20. Baykulov A.K. Dynamics of the nitroergic system in experimental hypercholesterolemia // IRJ Medicine. – 2023.

ISSN 3030-3907