

**POLIMERLAR KIMYOSI VA FIZIKASI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 RAQAMLI
ILMIY KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

POLIMERLAR KIMYOSI VA FIZIKASI INSTITUTI

MAMADIYOROV BURXON NORMURODOVICH

**NANOSELLYULOZANING KARBOKSIMETIL VA (MET)AKRILAT
HOSILALARINING SINTEZI, TUZILISHI VA XOSSALARI**

**02.00.05 – Sellyuloza va sellyuloza–qog‘oz ishlab chiqarish kimyosi va texnologiyasi
02.00.12–Nanokimyo, nanofizika va nanotexnologiya**

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

Toshkent – 2025

Falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Mamadiyurov Burxon Normurodovich Nanosellyulozaning karboksimetil va (met)akrilat hosilalarining sintezi, tuzilishi va xossalari.....	3
Мамадиёров Бурхон Нормуродович Синтез, структура и свойства карбоксиметил- и (мет)акрилат производных наноцеллюлозы.....	21
Mamadiyurov Burkxon Normurodovich Synthesis, structure and properties of carboxymethyl- and (meth)acrylate derivatives of nanocellulose.....	39
Eʼlon qilingan ishlar roʻyxati Список опубликованных работ List of published.....	42

**POLIMERLAR KIMYOSI VA FIZIKASI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 RAQAMLI
ILMIY KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

POLIMERLAR KIMYOSI VA FIZIKASI INSTITUTI

MAMADIYOROV BURXON NORMURODOVICH

**NANOSELLYULOZANING KARBOKSIMETIL VA (MET)AKRILAT
HOSILALARINING SINTEZI, TUZILISHI VA XOSSALARI**

**02.00.05 – Sellyuloza va sellyuloza–qog‘oz ishlab chiqarish kimyosi va texnologiyasi
02.00.12–Nanokimyo, nanofizika va nanotexnologiya**

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

Toshkent – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.I.PhD/K722 raqam bilan ro'yhatga olingan.

Dissertatsiya Polimerlar kimyosi va fizikasi institutida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezюме)) ilmiy kengash veb-sahifasida (polchemphys.uz) va «ZiyoNet» axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: Ataxanov Abdumutolib Abdupatto o'g'li
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: Shomuradov Shavkat Abduganievich
kimyo fanlari doktori

Yunusov Haydar Ergashovich
texnika fanlari doktori

Yetakchi tashkilot: Toshkent to'qimachilik va engil sanoat instituti

Dissertatsiya himoyasi Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti huzuridagi DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 raqamli ilmiy kengashning 2025 yil «19» 12 soat 15:30 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100128, Toshkent shahri, Abdulla Qodiriy ko'chasi, 7b uy. Tel.:(+99871) 241-85-94, faks: (+99871) 241-26-60, e-mail: polymer@academy.uz)

Dissertatsiya bilan Polimerlar kimyosi va fizikasi institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin. (50 raqami bilan ro'yxatga olingan) (Manzil: 100128, Toshkent shahri, Abdulla Qodiriy ko'chasi, 7b uy. Tel. (+99871) 241-85-94).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil « 7 » 12 kuni tarqatildi.
(2025 yil « 7 » 12 dagi 2 raqamli reyestr bayonnomasi.)



S.Sh. Rashidova
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash raisi, k.f.d., professor, akademik

LN. Nurgaliyev
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash kotibi, f-m.f.d., katta ilmiy xodim

N.R. Vohidova
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi bir martalik ilmiy seminar raisi, k.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda qayta tiklanuvchi, bioparchalanuvchi va bezarar tabiiy polimerlar asosida nanotuzilishli yangi hossalarga ega bo'lgan hosilalarini sintez qilish va ularni turli sohalarda qo'llashga bo'lgan qiziqish yildan yilga ortib bormoqda. Jumladan, sellyuloza qo'llanilgan difikatsiyalangan shakllarining yuqori reaksiya faollikga ega ekanligi uning asosida tarkibida turli xil funksional guruhlangan maxsus hossalarga ega hosilalarini sintez qilish va biotibbiyot, materialshunoslik, kimyo sohasida qo'llash imkoniyatini yaratmoqda.

Bugungi kunda jahonda nanoselluloza asosida dori tashuvchi, yaralarni davolovchi va to'qimalarni yaxshilash potentsialiga ega bo'lgan materiallar yaratish va ularni farmatsevtika va biotibbiyotda qo'llash bo'yicha ilmiy izlanishlar ilmiy-tadqiqot markazlarida faol olib borilmoqda. Shuni inobatga olgan holda bioparchalanuvchi, toksik ta'sirlarga ega bo'lmagan mahalliy tabiiy polimer – selluloza, hususan, nanosellyulozani funksionalizatsiyalash orqali nanosellyulozaning mukoadgeziv xususiyatga ega hosilalarini sintez qilish muhim fundamental va amaliy ahamiyatga ega.

Respublikamizda ham mahalliy xom ashyolar asosida yangi farmatsevtik preparatlar va biomateriallar yaratish sohasini rivojlantirishda ilmiy izlanishlarni yuqori darajada tashkil etish va mahalliy farmatsevtika sanoatini rivojlantirish bo'yicha keng qamrovli ishlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, tabiiy polimerlar, xitozan, sellyuloza va ularning hosilalari asosida maxsus xossalarga ega bolgan yangi preparatlar yaratilmoqda va farmasevtika, tibbiyot, biotibbiyot sohasida dori preparatlari va dori tashuvchi tizimlar sifatida qo'llanilmoqda. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Taraqqiyot strategiyasi¹, 2030 – yilgacha bo'lgan ilm-fanni rivojlantirish konsepsiyasi² «... yangi farmasevtika mahsulotlari ishlab chiqarishni oshirish...» vazifalari belgilab berilgan. Bu borada O'zbekiston Respublikasida farmasevtika amaliyoti uchun katta ehtiyojga ega bo'lgan nanosellyulozaning yangi hosilalarini sintez qilish va ishlab chiqarish texnologiyasini o'zlashtirishga yo'naltirilgan ilmiy–amaliy tadqiqotlar o'tkazish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 14 fevraldagi PQ–3532–sonli “Farmasevtika tarmog'ini jadal rivojlantirish bo'yicha qo'himcha chora–tadbirlar to'g'risida”gi, 2018 yil 23 yanvardagi PQ–3489–sonli "Dori vositalari va tibbiyot mahsulotlarini ishlab chiqarish va importini yanada tartibga solish chora–tadbirlari to'g'risida" gi hamda 2019 yil 30 dekabrda PQ–4554–sonli “O'zbekiston Respublikasi farmasevtika tarmog'ida islohotlarni chuqurlashtirishga doir qo'shimcha chora–tadbirlar to'g'risida”gi, hamda 2019 yil 3–aprildagi PQ–4265–sonli “Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora–tadbirlari to'g'risida” gi Qarorlari, shuningdek, mazkur faoliyatga

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида» Фармони.

²Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 29 октябрдаги ПФ-4947-сон «Илм-фанни 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида» Фармони.

tegishli boshqa me'yoriy–xuquqiy xujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalarini rivojlanishi ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII. «Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar» ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoni o'rganilganlik darajasi. Dunyoning ko'pgina mamlakatlarida nanosellyuloza va uning hosilalarini sintez qilish, farmasevtika va tibbiyot soxalarida qo'llash bo'yicha ilmiy izlanishlar faol olib borilmoqda. Sellyulozadan nanosellyuloza olish va turli soxalarda qo'llash bo'yicha olib borilgan ilmiy yo'nalishlarni rivojlantirishga A. Dufresne, K.Oksman, M.Ielovich, J.Simonsen, A.S. Azizi Samir va bir qator olimlar katta hissa qo'shishgan. Dunyoning ko'plab mamlakatlarida sellyuloza va uning hosilalari asosida mukoadgeziv va dori tashuvchi materiallar yaratish hamda qo'llash bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda tabiiy polimerlar va uning hosilalari olinishi va qo'llanilish soxasiga V.V. Xutoryanskiy, R.P. Brannigan, O.M. Kolawole va boshqa olimlar tomonidan olib borilgan ilmiy izlanishlarni alohida ta'kidlab o'tish zarur.

Respublikamizda mazkur yo'nalish rivojiga akademiklar H.U. Usmanov, S.Sh. Rashidova, A.S. Turayev, professorlar A.A. Sarimsakov, G.R. Raxmonberdiev va boshqalar o'z ilmiy izlanishlari bilan sellyuloza hosilalari, ularning tarkibi, tuzilishi, xossalarini o'rganish bo'yicha o'z hissalarini qo'shgan.

Ushbu izlanishlarga qadar adabiyotlarda nanosellyuloza asosida natriy karboksimetil selyuloza (Na–KMS), glitsidilmetakrilat nanosellyuloza, (met)akrilat nanosellyuloza hosilalarini sintez qilish va xossalarini tadqiq qilish yetarlicha o'rganilmagan. Mazkur yo'nalishda fundamental va amaliy izlanishlarni amalga oshirish nanosellyuloza hosilalari asosida maxsus fizik–kimyoviy xossalarga ega bo'lgan, qo'llash doirasi keng bazi xossalari nanosellyulozadan farq qiladigan va notoksik xususiyatlari tufayli biotibbiyotda qo'llash va bioparchalanuvchi materiallar yaratish istiqbollari yuzaga keltiradi.

Tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan ilmiy–tadqiqot muassasasining ilmiy–tadqiqot ishi rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti bazaviy ilmiy tadqiqot ishlari rejasi (2020–2024 y.) hamda FA–F7–T–008 «Nanopolimer tizimlar, maxsus xossali materiallar yaratishda elektron tuzilishi va kinetikaning roli» (2015–2019 y.) mavzularidagi fundamental loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi nanosellyulozaning karboksimetil, glitsidilmetakrilat, akrilat va metakrilat guruhlarini tutgan hosilalarini sintez qilish, ularning tuzilishi va xossalarini tadqiq qilish.

Tadqiqotning vazifalari:

paxta sellyulozasidan nanosellyuloza olish va fizik–kimyoviy xususiyatlarini tadqiq etish;

nanosellyuloza asosida suspensyon usulda natriy karboksimetil selyuloza sintez qilish va uning xossalariga reaksiya sharoitlari ta'sirini tadqiq qilish;

glitsidilmetakrilat nanosellyulozani sintez qilish, tuzilishi va fizik–kimyoviy xossalarini o'rganish;

nanosellyulozaning akrilat va metakrilat guruhlarini tutgan hosilalarini sintez qilish, ularning strukturasi va fizik–kimyoviy xossalarini o‘rganish;

sintez qilingan nanosellyuloza hosilalarining (karboksil, glitsidilmetakrilat, akrilat va metakrilat) maxsus xossalarini, jumladan, mukoadgeziv va toksikologik xossalarini tadqiq qilish.

Tadqiqotning ob’ektlari – paxta sellulozasi (PS), nanosellyuloza (NS), natriy karboksimetilnanosellyuloza (KMNS), glitsidilmetakrilat nanosellyuloza (GMANS), metakrilat nanosellyuloza (MANS) akrilat nanosellyuloza (ANS) hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti nanosellyuloza asosida KMNS, GMANS, ANS va MANS sintez qilish, sintezning maqbul sharoitlarini topish, namunalarning tuzilishi, fizik–kimyoviy va tibbiy–biologik xossalarini tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlarda IQ–Fure va UB–spektroskopiya usullari, rentgen strukturaviy analiz, YaMR-spektroskopiya, konduktometrik titrlash, vizkozometriya, termik analiz, atom kuchlanishli mikroskopiya, yorug‘likning dinamik tarqalish va kimyoviy analiz usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

nanosellyuloza asosida yuqori almashinish darajasiga ega suvda eruvchan KMNS sintez qilingan, jarayonining maqbul sharoitlari aniqlangan;

ilk bora glitsidil metakrilat bilan nanosellyulozani modifikatsiya qilish orqali nanosellyulozaning yangi hosilasi - GMNS sintez qilindi, xossalari va tuzilishi aniqlandi;

ilk bora tarkibida qo‘sh bo‘g‘ guruhi tutgan nanosellyulozaning ANS va MANS yangi hosilalari sintez qilindi va tuzilishi hamda fizik–kimyoviy xossalari aniqlandi;

ilk bora nanosellyuloza asosida sintez qilingan KMNS, GMNS, ANS va MANS larning yuqori mukoadgeziv xossaga ega ekanligi va ular asosida mukoadgeziv preparatlar olish imkoniyatlari mavjudligi aniqlandi.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

paxta sellulozasi asosida NS olish usuli yaratildi va olingan mahsulotga tashkilot standarti (Ts 25261285–02) ishlab chiqildi hamda O‘zR Sog‘liqni saqlash vazirligidan va “Uzstandart” agentligi tomonidan ro‘yhatdan o‘tkazildi; bu o‘z navbatida NS ishlab chiqarishni amaliyotga joriy qilish imkoniyatini yaratdi;

NS asosida suspensiyalar usulda KMNS olish jarayonining maqbul sharoitlari aniqlangan;

yangi sintez yondashuvi asosida GMNS, ANS va MANS efirlarini sintez qilish usullari yaratildi va optimal sharoitlar topildi;

NS ning sintez qilingan yangi hosilalari mukoadgeziv materiallar sifatida qo‘llash imkoniyatlari ko‘rsatildi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. NS va uning hosilalari olinishi va ularning fizik–kimyoviy, hamda mukoadgeziv xossalarini o‘rganish bo‘yicha olib borilgan tajribalar natijalari zamonaviy fizik–kimyoviy va xalqaro standart usullar yordamida aniqlangan. Olingan ilmiy va amaliy natijalar respublika va xalqaro ilmiy anjumanlarda muxokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundan iboratki, paxta sellulozasidan kimyoviy va fizikaviy usullarni qollagan holda NS ajratib olingan, nanosellyulozaning yuqori reaksiyon

faolligi tufayli uning asosida KMNS, GMNS, ANS va MANS hosilalari sintez qilindi, shuningdek ularning tuzilishi va xossalari aniqlandi. KMNS, GMNS, ANS va MANS larining in vitro sharoitida og'iz bo'shlig'i shilliq pardalariga mukoadgeziv xossalari va shilliq pardalar sirtlari bilan o'zaro ta'sir qilish mexanizmlari tadqiq qilindi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundan iboratki, NS asosida sintezlangan hosilalarning bioparchalanuvchanligi, organizm bilan o'zaro mos tabiati, toksik xususiyatlarga ega emasligi va yuqori mukoadgeziv xususiyatga ega ekanligi ularni dori tashuvchi matritsa sifatida foydalanish imkoniyatini beradi va ular asosida ta'sir muddati uzaytirilgan dori tashuvchi tizimlar yaratish imkoniyatlari mavjudligi tadqiq qilindi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. “Nanosellyulozaning karboksimetil va (met)akrilat xosilalarining sintezi, tuzilishi va xossalari” bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

nanosellyuloza olish usuliga O'zbekiston Respublikasi Intelektual mulk agentligining ixtiro patenti olingan (IAP 0509, 28.11.2017 y.). Natijada nanosellyuloza hosilalari (shu jumladan, KMNS, GMNS, MANS, ANS) modifikatsiyalash orqali mukoadgezion xossaga ega bo'lgan namunalarni sintez qilish imkonini bergan;

nanosellyuloza uchun texnik shartlar (Ts 25261285–02) “Uzstandart” agentligi tomonidan ro'yxatdan o'tkazilgan. Natijada mazkur texnik shartlar mahsulotlarning sifati va texnologiya jarayonini nazorat qilish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya bo'yicha olingan asosiy natijalar 7 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy–amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 14 ta ilmiy ish chop etilgan, bulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy nashrlarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 4 ta ilmiy maqola, jumladan, 1 ta respublika va 3 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

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

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, obyektlari va predmetlari belgilangan, O'zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, uning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etish istiqbollari bo'yicha xulosa qilingan hamda nashr etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Nanosellyulozani olish, modifikatsiyalash va qo‘llash: muammoning holati va hal qilish usullari**” nomli birinchi bobda NS turli xom ashyolardan har hil yondashuvlar asosida olish, unining tarkibiga turli funksional guruhlar kiritish orqali modifikatsiyalangan hosilalarinin sintez qilish usullari va uning turli xil hosilalari: jumladan, KMNS, GMNS, ANS hamda MANS ning olinishi, kimyoviy tuzilishi, fizik–kimyoviy xossalari va ularning qo‘llanilish sohalari, hozirgi kunda amaliy tibbiyotda qo‘llanilayotgan zamonaviy dori tashuvchi tibbiy vositalarning yaratilish usullari, ularning turli shakllari, kimyoviy tarkibi, tuzilish xususiyatlari hamda farmakologik samaradorligini belgilovchi xossalari bo‘yicha adabiyotlar sharhi keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Tadqiqot obyektlari va usullari**” nomli ikkinchi bobida nanosellyuloza va uning hosilalari – KMNS, GMNS, ANS hamda MANS olish uchun zarur bo‘lgan xom ashyo va materiallar tavsiflangan. Shuningdek, NS asosida mazkur hosilalarni sintez qilish usullari keltirilgan. Yaratilgan materiallarning mukoadgezion xossalari maxsus model tizimlarda baholangan hamda nanostrukturali polimerlarning fizik–kimyoviy xususiyatlarini tadqiq etish usullari bayon etilgan.

Dissertatsiyaning “**Nanosellyuloza hosilalari sintezi, tuzilishi va xossalari**” nomli uchinchi bobida NS va uning hosilalari — KMNS, GMNS, ANS hamda MANS sintezi, ularning fizik–kimyoviy xossalari va tuzilish xususiyatlari tadqiq etilgan. Shuningdek, namunalarning tarkibidagi karboksimetil-, akrilat- va metakrilat-kabi turli funksional guruhlarning tuzilishiga va fizik–kimyoviy xossalariga ta’siri o‘rganilgan hamda ularni yangi mukoadgezion xossalarga ega preparatlar yaratishda qo‘llash imkoniyatlari yoritilgan.

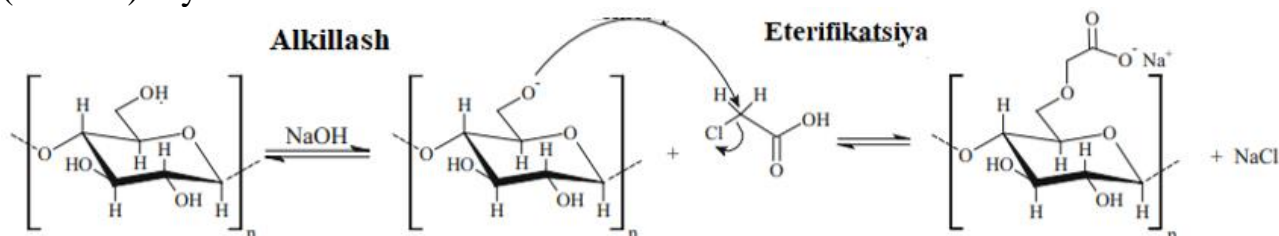
NS hosilalarini olish uchun xomashyo sifatida nanosellyuloza namunalari tadqiqot obyekti sifatida tanlab olindi. NS namunasi paxta sellyuloza tolalarining H_2SO_4 (61% va 65%, bunga muvofiq NS-1 va NS-2 namunalari) suvli eritmalarida kislotali gidroliz, so‘ngra yuqori chastotali ultratovush dispersiyasi bilan ishlov berish natijasida olindi.

NS-1 va NS-2 namunalarning strukturaviy tuzilishi sellyuloza strukturasi nisbatan gidroliz jarayonida deyarli o‘zgarmaganligi kuzatildi, ya’ni FTIQ-spektrlarida sellyulozaga xos bo‘lgan choqqilar mavjudligi kuzatildi. NS-1 namunasi 150-500 nm o‘lchamdagi ignasimon shakldagi zarrachalardan iborat bo‘lib, kristallanish darajasi 84% ga teng. NS-2 namunasi 50-300 nm o‘lchamdagi shaklsiz (sferik shakllar ham mavjud) zarrachalardan iborat bo‘lib, kristallanish darajasi 25% ni tashkil qiladi.

Olingan NS namunalarning suvli suspenziyalarining reologik xossalari tadqiq etilganda, ushbu xossalar nanozarrachalarning shakliga bog‘liq holda farq qilishi aniqlandi. Reologik tadqiqotlar NS ning 5 % li suvli suspenziyalarida olib borildi, taqqoslash uchun mikrokristallik sellyuloza (mikron o‘lchamdagi zarrachalar) namunasi ham tahlil qilindi. Siljish tezligining ($\dot{\gamma}$) siljish kuchlanishiga (σ) bog‘liqligining boshlang‘ich qismi to‘g‘ri chiziqli xarakterga egadir, lekin umumiy bog‘liqlik egri chiziqli xarakterga ega. ($\dot{\gamma}$) ning oshishi bilan (σ) oshishi kuzatiladi, bunda suspenziyalarning chekli oquvchanlik qiymatlari zarralarning shakli va o‘lchamiga bog‘liq ravishda bir-biridan farqlanadi: NS-2 uchun $\sigma_{\dot{\gamma}} = 62$; NS-1 uchun

$\sigma_\gamma = 39$ Па; MKS uchun $\sigma_\gamma = 26$ Па. Bog'liqlik egrisining doimiy monotonik o'sishi amalga oshirilgan siljish oqimi rejimida ushbu suspenziyalarning fazaviy barqarorligini ko'rsatadi. Shuni ta'kidlash kerakki, suyuqliklar, shu jumladan suspenziyalar oqimi ma'lum darajada haroratga (T) bog'liq. Buni hisobga olgan holda, NS suspenziyalarining qovushqoqlik xossalariga haroratning (T = 25, 40, 55, 70°C) ta'siri keng diapazondagi siljish kuchlanishida ($\sigma = 0-300$ Pa) o'rganildi. Effektiv qovushqoqlikning ($\ln \eta_{eff}$) teskari haroratga (T^{-1}) bog'liqligini hosil qilinib, suspenziyalarning chekli oquvchanlik qiymatlari nuqtasida qovushqoq oqimning faollanish energiyasining qiymatlari aniqlandi: NS-1 uchun $E_a = 18$ kDj/mol, NS-2 uchun $E_a = 12$ kDj/mol. Natijalar sellyuloza nanozarrachalarining siljish oqimidagi xatti-harakati ularning shakli, siljish kuchlanishining kattaligi va haroratga bog'liqligini ko'rsatdi.

Keyingi tadqiqotlarda suspenzion usulda KMNS olish va uning tuzilishi va xossalarini aniqlash bo'yicha ishlar olib borildi. NS natriy gidroksidning spirtidagi eritmasi bilan ishlov berildi, alkillovchi reagent sifatida monoxlorosirka kislotasidan (MXUK) foydalanildi.



1-rasm. KMNS sintez reaksiyasi

Sellyuloza hosilatrini sintez qilishda reaksiyaning muvaffaqiyatli borganligini ko'rsatuvchi asosiy parametrlardan biri – almashinish darajasidir (AD). NS-1 va NS-2 ning karboksimetillash reaksiyasida o'zgaruvchan parametrlarning (ishqor konsentratsiyasi, harorat, reaksiya davomiyligi va MXUK sarfi) KMNS namunalarining AD ga ta'siri o'rganildi.

Ishqor konsentratsiyasi 8 % gacha oshirilganda KMNSning AD ortib borishi, biroq yuqoriroq konsentratsiyalarda MXUK gidrolizi va qo'shimcha reaksiyalar borishi hisobiga bu ko'rsatkichning pasayishi kuzatildi. Jarayon parametrlarini tahlil qilish natijasida, NS-1 namunasida esa 70 °C haroratda va 90 daqiqada va NS-2 namunasida 55 °C haroratda va 60 daqiqada yuqori almashinish darajasiga erishildi. MXUK sarfi NS:MXUK nisbati 1:2 gacha oshirilganda almashinish darajasi sezilarli ortdi, ammo undan yuqori nisbatlarda o'zgarish kuzatilmagani sababli 1:2 mol nisbati optimal nisbat deb belgilandi. NS-1 va NS-2 dan olingan KMNSnamunalarining suvda to'liq eruvchanligi aniqlanib, ularning almashinish darajalari mos ravishda 1,24 va 1,46 ga teng ekani topildi (1-jadval).

1- jadval

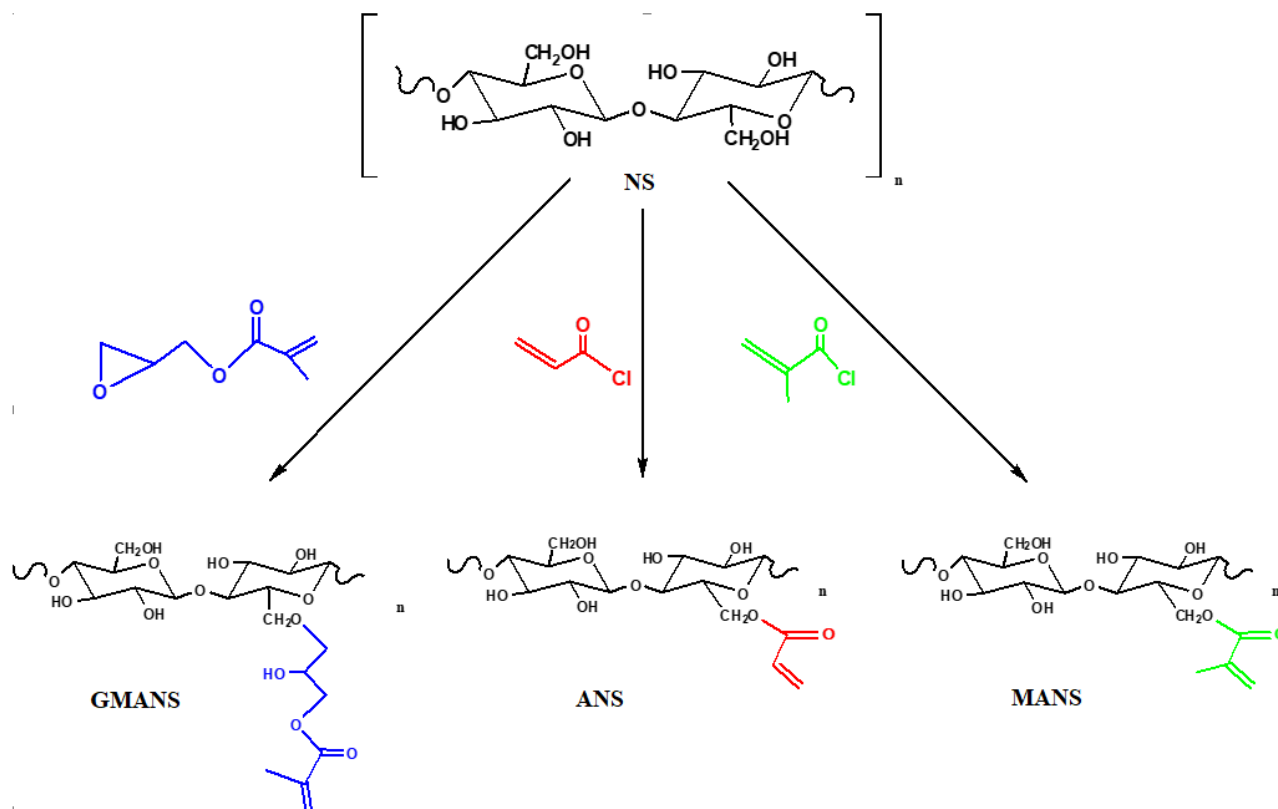
NS-1 va NS-2 dan olingan KMNS namunalarining sifat ko'rsatkichlari

№	Dastlabki namuna	PD	KMNS ning sifat ko'rsatkichlari			
			PD	AD	Chiqish unumi, %	Eruvchanlik, %
1.	NS-1	178	143	1.24	89	100
2.	NS-2	112	90	1.46	93	100

KMNS namunalarning FTIQ-spektrlarida 1605 cm^{-1} to'lqin uzunligida karbonil guruhlariga (C=O) tegishli bo'lgan choqqilar paydo bo'lganligi kuzatildi, hamda rentgen difraktogrammalarda amorf galo paydo bo'lishi KMNS namunalarning amorf tuzilishga ega ekanligini ko'rsatdi.

Tadqiqotlarning keyingi bosqichida tarkibida qo'sh bog' tutgan nanosellyuloza hosilalari sintezi bo'yicha izlanishlar olib borildi.

Nanosellyulozaning GMANS hosilasining sintezi dimetilsulfoksid (DMSO) erituvchida 4-dimetilaminopiridin (DMAP) katalizatori ishtirokida bir necha bosqichda amalga oshirildi (2-rasm).



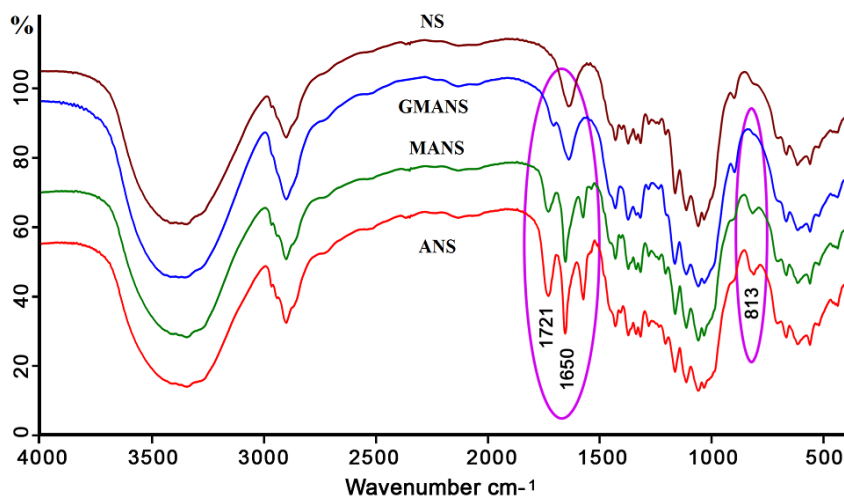
2-rasm. GMANS, ANS va MANS sintezi reaksiya sxemasi.

Reaksiya organik erituvchi DMSO olib borishga sabab, birinchidan, GMA suvda yahshi erimaydi hamda suv ishtirokida gidrolizga uchraydi, ikkinchidan, NS DMSO da yahshi bo'kish xususiyatiga ega, bu esa uning reaksiyaga kirishish imkoniyatlarini oshiradi. GMANS olishning optimal sharoitlarini topish uchun reaksiyaning o'zgaruvchan parametrlarini (harorat, vaqt, reagentlar nisbati) almashinish darajasiga ta'sirini o'rganildi. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida, GMANS ning eng yuqori qiymatlariga harorat 40°C , reaksiya davomiyligi 70 soat, GMA mol nisbati 1:1.2 bo'lganda erishish mumkinligi aniqlandi.

GMNS ning UB spektroskopiya tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, C=O va C=C bilan bog'langan bog'larning elektron o'tish intensivligi bo'yicha farq qiluvchi p-p* va n-p* ikkita rejimda kuzatildi. UB spektroskopiyasidan foydalangan holda olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, GMAS ning bog'langan bog'lari material spektrlaridagi yutilish soxalarining to'lqin uzunliklariga siljishi bilan bog'liq. C=O guruhlarining n-p* elektron o'tishlari 350 nm da yutilish soxasi bilan bog'langan ammo, bu guruhlarining miqdori tufayli Vudvord qonuni ularni uzunroq to'lqin

uzunliklariga siljiydi. Enon kislorod atomining bog‘lanmagan elektron juftlari orbitalining energiyasi karbonil guruhi orbitalining energiyasiga nisbatan bog‘lanishlar natijasida o‘zgaradi biroq, eng past erkin molekulyar orbital (LUMO) energiyasi kamayishi bilan $n-p^*$ o‘tish energiyasi kamayishi sababli uzun to‘lqinli mintaqada siljishiga olib keladi

GMANS ning infraqizil spektrlarida sellyulozaga xos bo‘lgan barcha yutilish cho‘qqilari nomoyon bo‘ldi. NS dan farqli o‘laroq, 1720 cm^{-1} sohada glisidil metakrilatning $C=O$ guruhlariga mos keladigan pik, va $1620, 813\text{ cm}^{-1}$ sohalarda $C=C$ guruhiga tegishli bo‘lgan cho‘qqilar paydo bo‘lishi kuzatildi (3-rasm).

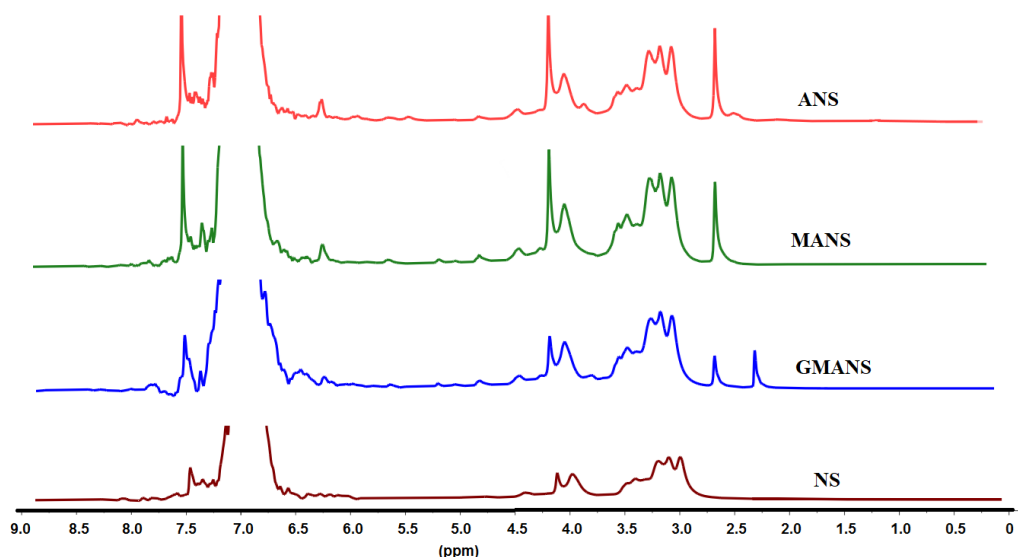


3–rasm. NS, GMNS, ANS va MANS namunalarining IQ-spektrlari

NS va GMANS namunalarning rentgen strukturaviy tahlil o‘tkazilganda, GMANS ning kristallanish darajasi 78% ni tashkil etib, NS namunasi (84%) ga nisbatan pastroqdir. Modifikatsiya jarayoni NS kristallitlarining o‘lchamiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi: kristallit o‘lchamlari bir yo‘nalishda ortib boradi, boshqa yo‘nalishda esa deyarli o‘zgarishsiz qoladi. Buning sababi shundaki, GMA NS kristallitlari yuzasiga payvandlanishi mumkin. Modifikatsiya jarayoni avvalo kristallitlarning tashqi yuzalaridan boshlanib, keyinchalik anizotrop tarzda kristall strukturaning ichki qatlamlariga asta-sekin o‘tadi.

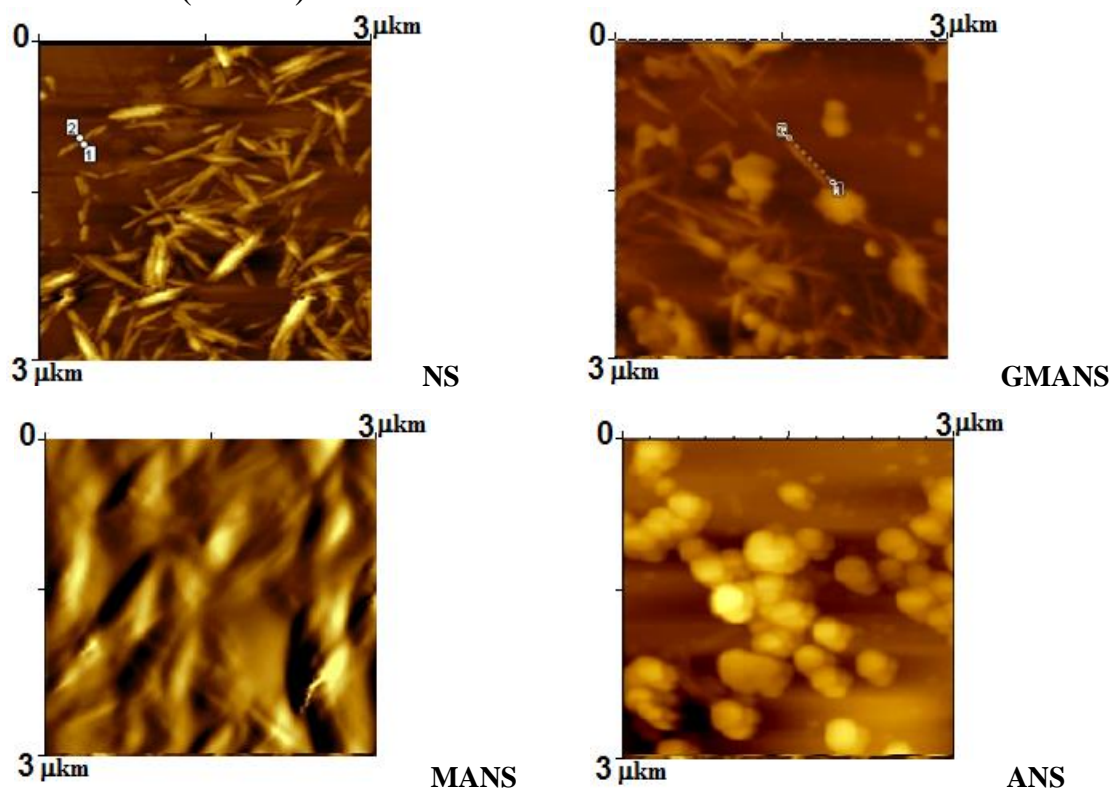
GMANS ning $^1\text{H-NMR}$ spektrlari tahlili shuni ko‘rsatdiki, $^1\text{H-NMR}$ spektrlarida NS ga xos bo‘lmagan 2,25–2,75 ppm va 6,25 ppm diapazonlarida ($C=C$ guruhlariga tegishli) qo‘shimcha hamda 2.3 ppm da $C-CH_2-$ guruhdagi protonlarga tegishli bo‘lgan cho‘qqilar qayd etildi (4-rasm).

Dinamik yorug‘lik tarqalishi usuli yordamida zarrachalar hajmini o‘rganish shuni ko‘rsatdiki, NS ning suvli suspenziyasida o‘lchamlari nanometr dan mikrometrgacha bo‘lgan polimodal taqsimotga ega zarralar mavjud. Nanosellyulozaning 1–10 nm diapazondagi zarralari GMA ning NS ga payvandlanishi jarayonida o‘lishni namoyon etadi, biroq 100 nm dan katta zarrachalar hajmi deyarli o‘zgarmaydi. Bu hodisa nanosellyuloza nanozarrachalari shaklidagi makromolekulalarning yo‘nalishidan kelib chiqadigan anizotropiya bilan izohlanadi.



4-rasm. NS, GMANS, ANS va MANS namunalarining YaMR-spektlari

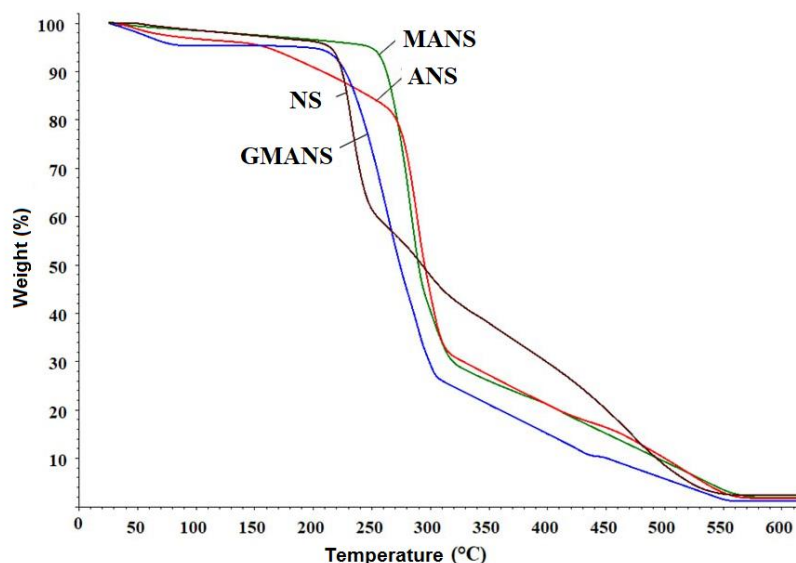
AKM tadqiqotlari natijalari shuni ko'rsatdiki, modifikatsiya jarayoni ta'sirida NS zarralarining hajmi va shakli sezilarli darajada o'zgaradi. Xususan, kengligi 60–180 nm va uzunligi 180–600 nm bo'lgan zarralar qayd etildi. Shuningdek, 200–350 nm diapazondagi cho'zilgan ellipsimon zarralar modifikatsiya jarayonining mahsuli sifatida shakllandi (5-rasm).



5-rasm. NS, GMANS, MANS va ANS namunalarining AKM tasvirlari

NS va uning hosilalarining TGA termogrammalari namunalar uchun massa yo'qotish jarayoni uch bosqichda kechishini ko'rsatdi. 100 °C gacha qizdirilganda (5–9% massaviy yo'qotish) kuzatilgan birinchi bosqich adsorbsion suv (namlik)ning ajralib chiqishi bilan bog'liqdir. Ikkinchi bosqich, ehtimol, funksional guruhlariga

bog‘liq holda 200–300 °C oralig‘ida sellyulozaning termik oksidlanishi va parchalanish jarayoni bilan bog‘liqdir (6-rasm).



6–rasm. NS, GMNS, ANS va MANS namunalarining TGA termogrammalari

Odatda sellyuloza hosilalari sof sellyulozaga nisbatan pastroq parchalanish haroratiga ega bo‘ladi. Biroq, bizning tadqiqotlarimizda NS hosilalari sof NS ga qaraganda yuqoriroq parchalanish haroratini namoyon qildi.

Keyingi tadqiqotlar NS ning akrilat- va metakrilat- hosilalari sintezi va ularning tuzilishi yo‘nalishida olib borildi (2-rasm).

Ushbu reaksiyalarda ham DMAP sellyuloza tarkibidagi gidroksil guruhlarinin eterifikatsiyalash jarayonini osonlashtirish uchun katalizator sifatida ishlatiladi va reaksiya odatda yumshoq sharoitlarda kechadi. DMAP metakriloil xlorid va akriloilxloridning reaktivligini oshirish uchun nukleofil katalizator sifatida xizmat qiladi. Kuchli elektron beruvchi asos sifatida DMAP nanosellyulozadagi gidroksil guruhlarini faollashtiradi hamda metakriloil xlorid va akriloilxloridning karbonil uglerodiga nukleofil ta’sirini osonlashtirib, natijada eterifikatsiya jarayonini kuchaytiradi. Reaksiya davomida hosil boladigan xlorid kislotani bog‘lab, sharoitni neytralligini ta’minlash uchun TEA qo‘llaniladi.

ANS va MANS sintez sharoitlarining reaksiya mahsulotiga ta’siri tadqiq qilindi. Reaksiya vaqti, harorati, moddalar nisbati ta’siri o‘rganildi va har ikki mahsulot uchun sintezning optimal sharoitlari aniqlandi. Bunda reaksiya harorati 40°C, reaksiya davomiyligi 23 soat va eterifikasiyalovchi agent mol nisbati 1:1.5 bolganda kutilgan natijalarga erishildi.

UF spektroskopik tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatdiki, taxminan 196, 226 va 290 nm da uchta asosiy absorbsiya cho‘qqisi qayd etilgan. Bu cho‘qqilar aldegid guruhlariga (240 va 290 nm atrofida) hamda karboksil guruhlaridagi C=O bog‘lariga (190–210 nm diapazonida) mos keladi. NS hosilalarining UF spektrlari shuni ko‘rsatadiki, elektron o‘tishlarning intensivligi tanlash qoidalariga bog‘liq holda farqlanadi va C=O hamda C=C bog‘langan tizimlariga oid $p-\pi^*$ va $n-\pi^*$ elektron o‘tishlari kuzatiladi. 190–230 nm diapazondagi yutilish sohalari elektronlarning $p-\pi^*$ o‘tishlari bilan bog‘liq bo‘lib, makromolekula zanjirida konyugatsiyalangan bog‘lanishlar soni ortishi natijasida bu sohalar uzoq to‘lqin uzunliklari tomon

batoxromik siljishga uchraydi. 260–290 nm diapazondagi yutilish sohalari esa konyugatsiyalangan bog‘lar va karbonil guruhlarining $n-\pi^*$ elektron o‘tishlariga mos keladi. UF–spektroskopik tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, yutilish sohalarining uzoq to‘lqin uzunliklari tomon siljishi konyugatsiyalangan bog‘lanishlarning mavjudligi bilan bog‘liq. 350 nm atrofida yutilish sohasi esa $C=O$ guruhlarining $n-\pi^*$ elektron o‘tishlari bilan bog‘liq bo‘lib, bu guruhlar sonining ortishi Vudvord qoidalariga muvofiq holda ularning spektrda uzun to‘lqin uzunliklari tomon siljishiga olib keladi.

ANS va MANS namunalari IQ spektrlarining $1700-1720\text{ cm}^{-1}$ diapazonda yangi cho‘qqi kuzatildi, bu esa eterifikatsiya jarayonida hosil bo‘lgan efirlarning $C=O$ guruhlariga mos keluvchi assimilyatsiya sohasi bo‘lib, almashgan guruhlar miqdorining ortishini ko‘rsatadi (3-rasm). 1650 cm^{-1} va 813 cm^{-1} da kuzatilgan tebranishlar esa akril va metakril fragmentlaridagi $C=C$ qo‘sh bog‘lanishlariga ishora qiladi. Almashinish darajasi IQ spektrlari natijalari asosida hisoblab chiqildi. Spektrlardan ayirish usuli va tegishli guruhlarining yutilish diapazonlarini integratsiyalash orqali aniqlangan natijalarga ko‘ra, almashinish darajasi MANS uchun 17% va ANS uchun 25% ni tashkil etdi.

NS ning xosilalari strukturasi amorf-kristal tuzilishi rentgen strukturali analiz usuli yordamida o‘rganildi. Bunda kristallanish indeksi NS uchun 84%, MANS uchun 73% va ANS uchun 63% ni tashkil etdi. Bu natijalar shuni ko‘rsatadiki, NS ni modifikatsiya qilish jarayoni sellyulozaning kristall tuzilishini qisman buzadi va bu holat NS kristallitlari yuzasida modifikatsiya borishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Kimyoviy modifikatsiya jarayoni avvalo sellyuloza kristallitlari yuzasidan boshlanib, keyinchalik asta-sekin anizotrop tarzda kristall strukturaning chuqur qatlamlariga o‘tadi. Eterifikatsiyalovchi reagentning kichikroq o‘lchamidan foydalanish esa yuqoriroq almashinish darajasini ta‘minlaydi va namunaning kristallanish darajasining pasayishiga olib keladi.

ANS va MANS namunalari YaMR spektrlarida kimyoviy siljishlarning $2,25-2,75\text{ ppm}$ va $6,25\text{ ppm}$ sohasida qo‘shimcha cho‘qilar kuzatildi bu piklar AX va MAX ning to‘yinmagan $C=C$ guruhlariga tegishli protonlar, hamda $-CH_3$ guruhi protonlari hisobiga $2,7\text{ ppm}$ yangi piklar kuzatiladi (4-rasm).

AKM tadqiqoti shuni ko‘rsatdiki, NS zarralari kengligi $20-80\text{ nm}$ va uzunligi $180-600\text{ nm}$ bo‘lgan igna shakliga ega. NS zarrachalarining hajmi va shakli eterifikatsiya jarayonida sezilarli darajada o‘zgaradi. Natijada $200-350\text{ nm}$ diapazondagi cho‘zilgan ellipsimon zarrachalar hosil bo‘ladi. Bu holat eterifikatsiya jarayonida sellyuloza makromolekulalarining yon guruhlarini kattalashishi bilan izohlanadi, natijada kristallitlarning makromolekula o‘qiga perpendikulyar yo‘nalishda kengayishi sodir bo‘ladi (5-rasm).

Termik analiz tadqiqotlari ANS va MANS namunalari ham sof NS ga nisbatan yuqoriroq parchalanish haroratiga ega ekanligini ko‘rsatdi (6-rasm). Bu holat, ehtimol, NS hosilalarida to‘yinmagan $C=C$ bog‘lanishlarning mavjudligi bilan izohlanadi. Harorat oshishi natijasida ushbu to‘yinmagan bog‘lanishlarning polimerlanishi sodir bo‘ladi va o‘zaro bog‘langan tuzilmalar shakllanadi, natijada parchalanish harorati yuqorilaydi. Shuningdek, almashinish darajasi yuqori bo‘lgan NS namunalari parchalanish harorati yanada yuqoriroq qayd etiladi.

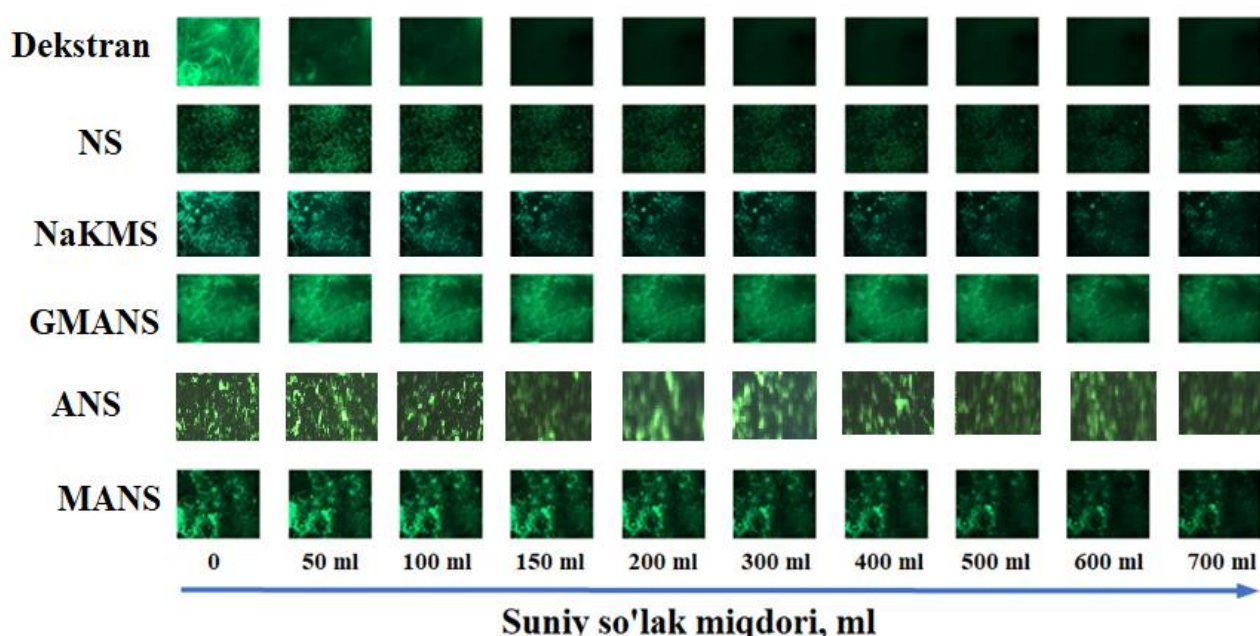
NS hosilalari tarkibida qo'sh bog' (C=C) guruhlarining sifat analizi jihatidan aniqlanishi shuni ko'rsatdiki, sintez qilingan NS hosilalarining suvli suspenziyasiga kaliy permanganat (KMnO₄) eritmasi qo'shilganda, eritmaning rangi binafsha tusdan jigarrang rangga o'zgaradi. Rangning bunday o'zgarishi NS ning yuzasida qo'sh bog'larning mavjudligini hamda sellyulozaning modifikatsiyalanganligini tasdiqlaydi.

Dissertatsiyaning **“Nanosellyuloza hosilalarini mukoadgeziv materiallar sifatida qo'llash imkoniyatlarini o'rganish”** nomli to'rtinchi bobida NS va uning hosilalarining turli amaliy sohalarda, xususan, biologik faol tizimlar va dori tashuvchi vositalar sifatida qo'llanish istiqbollari yoritilgan.

Nanosellyulozaning kimyoviy hosilalari o'z tarkibiga turli funksional guruhlarini kiritish imkoniyatiga ega bo'lgani sababli, ularning sirt xossalari, gidrofil–gidrofob muvozanati hamda ionlanish qobiliyatini boshqarish mumkin. Bu xususiyatlar ularni mukoadgeziv materiallar sifatida qo'llash imkonini beradi. Mukoadgeziv materiallar dori moddalarini biologik to'siqlar orqali samarali yetkazish, ta'sir muddatini uzaytirish va mahalliy biofaollikni oshirishda muhim rol o'ynaydi.

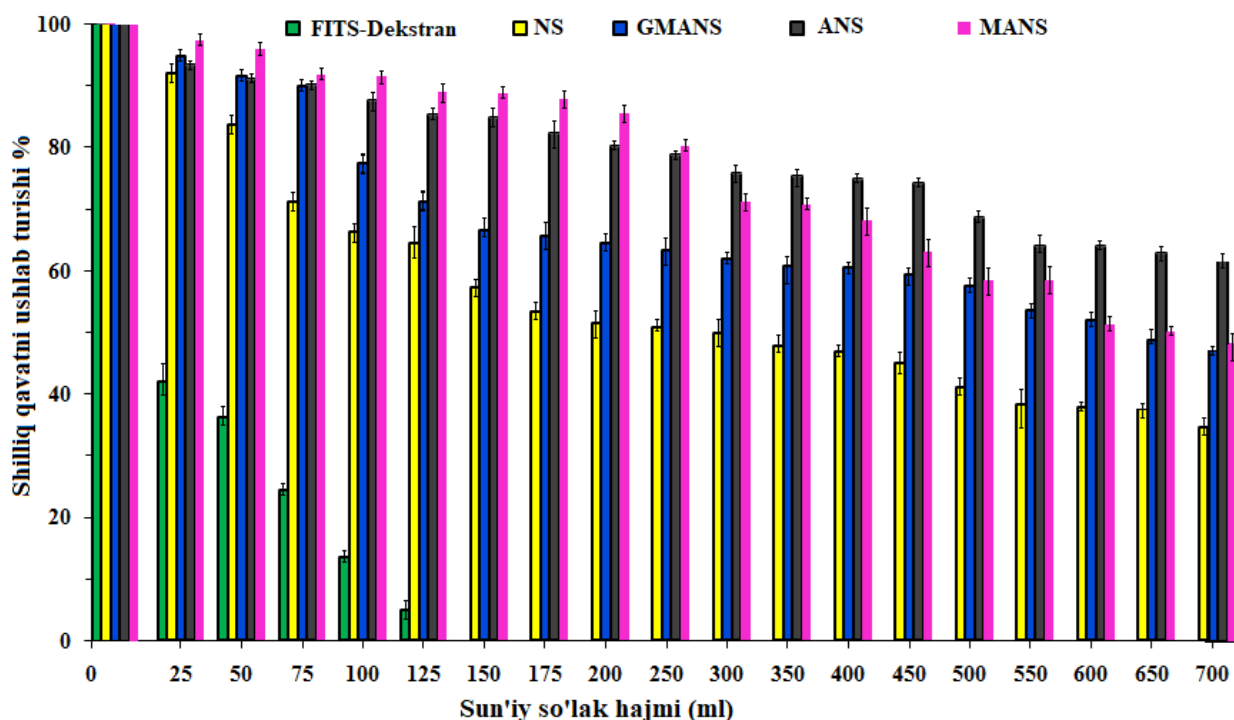
Shu bois nanosellyuloza hosilalarining mukoadgeziv materiallar sifatidagi imkoniyatlarini o'rganish ularning farmatsevtik qo'llanilish sohasini kengaytirish va yangi avlod dori tashuvchi tizimlarini yaratishda istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Shilliq qavatda ushlanish qobiliyatini baholash maqsadida NS va uning hosilalari fluorescein–izotiyosionat (FITC) molekulasini bilan belgilandi. Nazorat sifatida NS ijobiy nazorat sifatida, FITC–dekstran esa cheklangan mukoadgeziv xususiyatga ega modda sifatida salbiy nazorat sifatida tanlab olindi. Tajribalar yangi ajratilgan qo'ylarning og'iz bo'shlig'i shilliq qavati yuzasida, sun'iy so'lak tomchilatib turilgan sharoitda olib borildi. Olingan namunalarni fluoresan mikroskop yordamida tahlil qilindi va ularning tasvirlari qayd etildi (7-rasm).



7–rasm. Turli hajmdagi sun'iy so'lak eritmalari bilan yuvilgan qo'y og'iz shilliq qavati namunalarning yopishishini ko'rsatadigan mikroskop tasvirlari

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, KMNS, GMANS, MANS va ANS namunalari sof NS ga nisbatan 2–9 baravar yuqori mukoadgezion xossalarga ega. Ulardan ANS namunasi eng yuqori mukoadgezion xususiyatni namoyon etdi, bu esa uning almashinish darajasi bilan chambarchas bog'liqdir (8-rasm).



8–rasm. Dekstran, NS, GMANS, MANS va ANS qo'y og'iz to'qimalaridan FITS ning shilliq qavatini ushlab turishining qiymat ko'rinishi

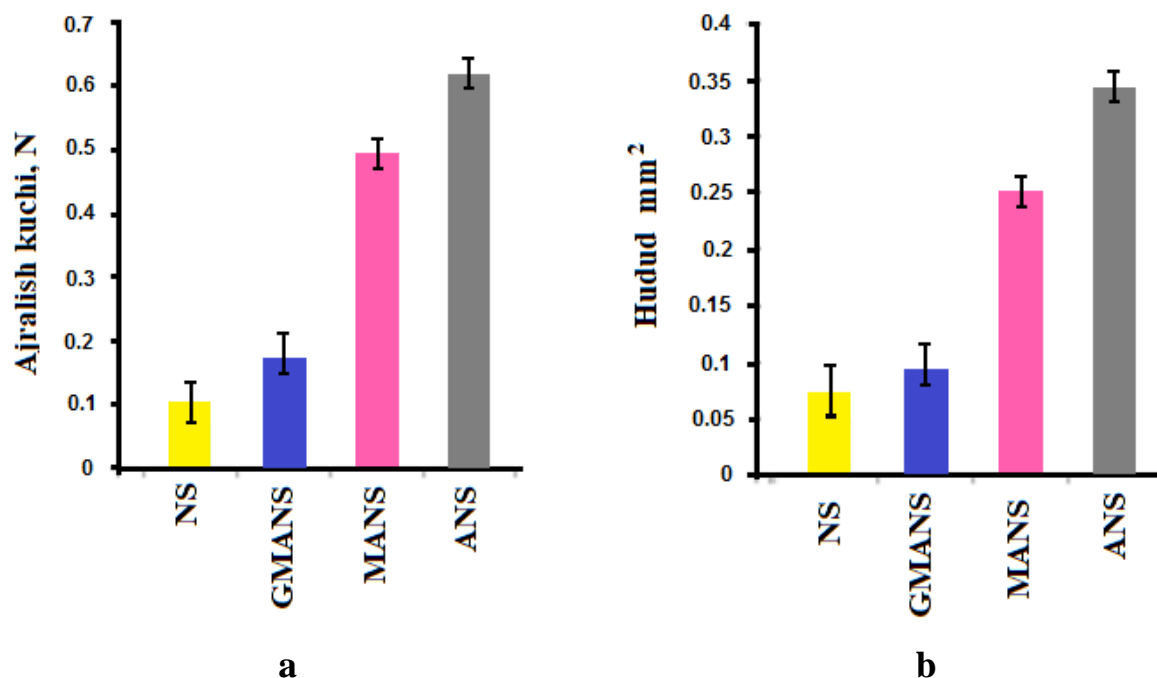
Nanosellyuloza va uning hosilalarining mukoadgeziv xossalari tadqiq qilishda Texture–analayzer usulidan ham foydalandik. Bunda shilliq qavatdan preparatlarni ajratish uchun sarf bo'ladigan kuch, ya'ni ajratish kuchi yoki yopishqoqlik kuchi – polimer materiallar va shilliq qavat o'rtasidagi yopishtiruvchi bog'lanishlarni yengish uchun zarur bo'lgan kuch sifatida ta'riflanadi, yopishqoqlikning umumiy qiymati esa kuch–masofa egri chizig'i ostidagi maydon bilan ifodalanadi (9-rasm).

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, nanosellyulozaga nisbatan uning hosilalari yuqoriroq mukoadgeziv (shilliq yopishqoqlik) xususiyatlarga ega. Ayniqsa, ANS eng yuqori yopishqoqlik ko'rsatkichini namoyon etdi, bu uning almashinish darajasi bilan bog'liqdir. Umuman olganda, polimerlarning yopishtiruvchi kuchi ularning yopishish sohasi bilan yaxshi korrelyatsiya qildi: MANS va ANS namunalarida toza NS ga nisbatan yuqoriroq ajralish kuchi va yopishish maydoni qayd etildi.

Sintez qilingan nanosellyuloza (NS) hosilalarining shilliq qavat bilan bog'lanish darajasi va birikuvchanligini baholash maqsadida “aylanadigan silindr” usuli yordamida amalga oshirildi.

ANS namunasining yopishish vaqti NS ga nisbatan 9,0 baravar, MANS namunasi esa 6,0 baravar yuqori ekanligi aniqlandi. Ushbu hodisa akrillangan guruhlar va shilliq qavatdagi tiol guruhlari o'rtasida bog'lanish hosil bo'lishi bilan izohlanadi. Olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatdiki, funksionalizatsiya qilingan NS hosilalari mukoadgeziv faollik nuqtayi nazaridan sezilarli ustunlikka ega bo'lib, bu

xususiyatlarning ortishi quyidagi ketma–ketlikda namoyon bo‘ladi: NS < KMNS < GMANS < MANS < ANS.



9–rasm. NC, GMANS, MANS va ANS namunalarining tortish sinovi yordamida o‘lchangan natijalari: qo‘ylarning og‘iz shilliq qavatidan ajralish kuchi (a) va yopishish maydoni (b)

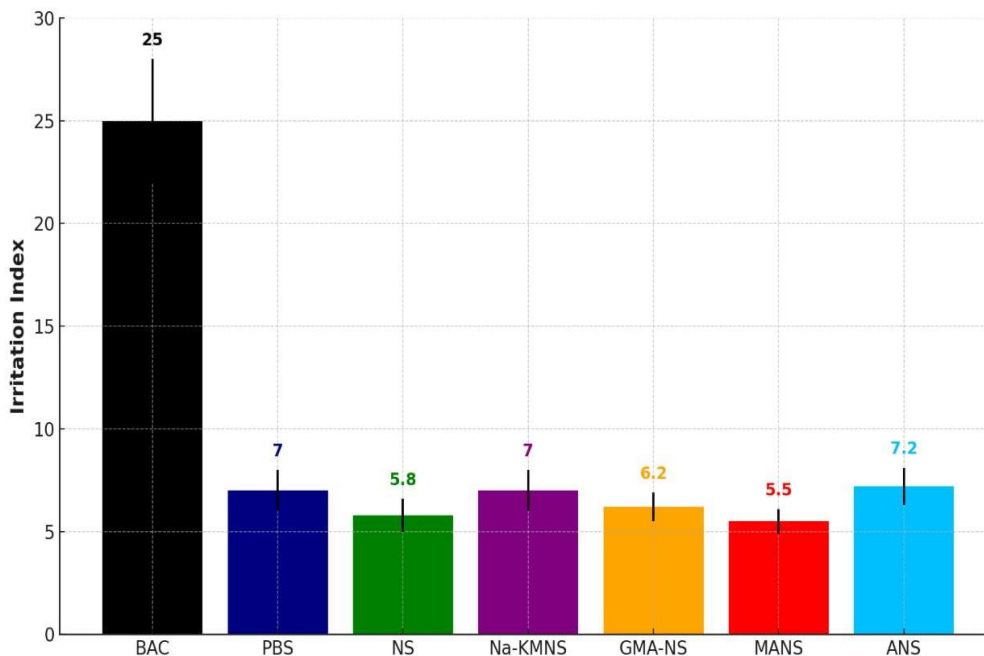
Nanosellyuloza hosilalarining toksikologik xossalarini baholash, ya’ni shilliq qavatning ta’sirlanish darajasini (mukozal irritatsiyani) aniqlash, hozirgi vaqtda farmatsevtika hamda kosmetika sanoatida keng qo‘llaniladigan muqobil *in vitro* testlar orqali amalga oshirildi. Ushbu usulning afzalligi shundaki, u hayvonlarda o‘tkaziladigan an’anaviy toksikologik sinovlarga ehtiyojni kamaytiradi hamda sezgir biologik modellar asosida shilliq qavat bilan to‘g‘ridan–to‘g‘ri aloqada bo‘ladigan moddalar xavfsizligini baholash imkonini beradi.

Test jarayonida, odatda, *Arion lusitanicus* yoki *Lehmanna valentiana* turiga mansub shilliqqurtlardan foydalaniladi. Ushbu organizmlar juda sezgir shilliq yuzaga ega bo‘lib, ularning tabiiy himoya mexanizmi sifatida shilimshiq sekretiysi kuchayadi. Ajralib chiqqan shilimshiq miqdori tashqi muhitdagi kimyoviy moddalar ta’siriga bevosita bog‘liq bo‘lib, mukozal toksiklikning miqdoriy ko‘rsatkichi sifatida xizmat qiladi.

Tajribada salbiy nazorat sifatida benzalkoniyl xlorid (BAC) va ijobiy nazorat sifatida polifosfat bufer eritmasi (PBS) qo‘llanildi. BACning shilliq qavat uchun xavfli moddalar toifasiga kirishini va uni mukoadgeziv tashuvchi sifatida qo‘llash mumkin emasligini isbotlangan. Shu bilan birga, ijobiy nazorat sifatida ishlatilgan PBS (7) va NS (5.8) past qiymatlarni qayd etdi (10-rasm).

Modifikatsiyalangan nanosellyuloza hosilalari ham PBS ga yaqin ko‘rsatkichlarni qayd etdi. KMNS (7.0) natijasi uning gidrofil guruhlar qo‘shilishi tufayli mukozal muvofiqligini saqlab qolganini tasdiqlaydi. GMANS (6.2) ozgina yuqoriroq qiymat qayd etgan bo‘lsa-da, epoksid guruhlarining mavjudligi shilliq qavat bilan kimyoviy ta’sir qilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Shunga qaramay, bu

ko'rsatkich past toksiklik diapazonida qolib, GMANS ni mukoadgezivlikni kuchaytiruvchi istiqbolli polimer sifatida tavsiflaydi. MANS (5.5) eng past qiymatlardan birini qayd etib, mukozal mosligi yuqoriligini va xavfsizlik darajasi eng yuqori hosila ekanligini ko'rsatdi. ANS (7.2) eng yuqori ko'rsatkichlardan birini qayd qilgan bo'lsa-da, u ham PBS bilan bir xil diapazonda qoladi va shuning uchun mukozal dori tashuvchi sifatida xavfsiz deb baholanishi mumkin.



10–rasm. Shilliq qavat ta'sirlanishini baholash testida namunalar shilimshiq ishlab chiqarish darajasi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, NS va uning hosilalari (Na-CMNS, GMA-NS, MANS, ANS) mukozal xavfsiz diapazonda qoladi va farmatsevtika hamda biotibbiyot sohalarida qo'llash uchun yuqori istiqbolga ega hisoblanadi. Ayniqsa, MANS eng past irritatsiya ko'rsatkichlari bilan ajralib turib, shilliq qavat bilan bevosita aloqada bo'ladigan dori tashuvchi tizimlar uchun eng xavfsiz va istiqbolli nomzodlar sifatida e'tirof etilishi mumkin. Shu bilan birga, Na-KMNS, ANS va GMA-NS hosilalari ham past toksikligi tufayli samarali biomaterial sifatida alohida ilmiy-amaliy qiymatga ega.

XULOSALAR

“Nanosellyulozaning karboksimetil va (met)akrilat xosilalarining sintezi, tuzilishi va xossalari” mavzusida falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Nanosellyulozaning yuqori (83%) va past (25%) kristallanish darajasiga ega namunalardan yuqori almashinish darajasiga (AD 1.26 va 1.46) ega to'liq suvda eruvchan karboksimetil nanosellyuloza namunalari (KMNS-1 va KMNS-2) sintez qilindi, sintez qilish uchun jarayonining maqbul sharoitlari (NaOH konsentrasiyasi 8%, harorat 55-70°C, vaqt 60-90 min, MXUK sarfi 2 mol) aniqlandi; KMNS namunalarning tusilishi IQ-spektroskopiya, rentgen, AKM va fizik-kimyoviy usullar yordamida tasdiqlandi.

2. Glitsidil metakrilatni nanosellyulozaga payvandlash orqali NS yangi hosilasi GMANS sintez qilindi, muvaffaqiyatli sintezga erishish uchun sintez jarayonida qo'llanilgan erituvchi (dimetilsulfooksid), katalizator (4-dimethyl-amino-pyridine) va reaksiya sharoitlar (harorat 40°C, vaqt 70 soat, GMA mol nisbati 1:1.2) ilmiy-tajribaviy asoslandi; sintez qilingan GMANS tuzilishi FIQ-spektroskopiya (1720 cm^{-1} sohada C=O guruhlariga mos keladigan pik, va 1620, 813 cm^{-1} sohalarda C=C guruhiga tegishli bo'lgan piklar paydo bo'lishi), rentgen-fazaviy analiz (KD 78%), ^1H -YaMR spektroskopiya (2,25–2,75 ppm va 6,25 ppm diapazonlarida yangi cho'qqilar), UF-spektroskopiya (190-230 nm va 260-290 nm to'lqin uzunliklarida C=O hamda C=C bog'larga oid $p-\pi^*$ va $n-\pi^*$ elektron o'tishlar) va boshqa usullar yordamida isbotlandi.

3. NS ni eterifikasiyalash orqali tarkibida qo'sh bog' tutgan ANS va MANS yangi hosilalari sintez qilindi (N,N-dimethylformamid erituvchi, 4-dimethyl-amino-pyridin katalizator va triethyl amin muhitni neytrallovchi sifatida) va optimal sintez qilish sharoitlari (reaksiya harorati 40°C, reaksiya davomiyligi 23 soat va eterifikasiyalovchi agent mol nisbati 1:1.5) aniqlandi. NMR (2,25–2,75 ppm va 6,25 ppm sohasida yangi cho'qqilar), FTIR da kuzatilgan tebranishlar (1700–1720 cm^{-1} diapazonda C=O guruhlariga tegishli, 1650 cm^{-1} va 813 cm^{-1} tolqin uzunligida C=C qo'sh bog'ga tegishli cho'qqilar) va permanganat usuli tahlillari yordamida NS hosilalarining tuzilishi tasdiqlandi. Rentgen, FTIR va TGA tahlillari shuni ko'rsatdiki, modifikatsiya qiluvchi reaktivning o'lchami qanchalik kichik bo'lsa (AX ning hajmi 239.5 cm^3/mol , MAX ning hajmi 296.5 cm^3/mol), almashinish darajasi shunchalik yuqori (MANS uchun 17%, ANS uchun 25%) va kristallik darajasi past (MANS uchun 73%, ANS uchun 63%) bo'ladi.

4. Sintez qilingan NS ning yangi hosilalari KMNS, GMANS, ANS va MANS namunalarining tarkibida mavjud karboksimetil va qo'sh bog' guruhlari hisobiga yuqori mukoadgeziv xossalarga ega ekanligi (sof NS ga nisbatan 2–9 baravar yuqori) real sharoitlarga yaqinlashtirilgan holda (*in vitro* usulida) maxsus usullar (flyurosent mikroskopiya, texture analyzer) yordamida isbotlandi va bu xususiyatlarning oshishi NS<GMANS< ANS<ANS tartibda kuzatildi.

5. Dastlabki tadqiqotlar asosida sintez qilingan NS namunalarining kam toksik xususiyatga ega ekanligi, yangi usulni (*Lehmannia valentiana* turkimiga mansub maxsus shilliq qurtlar ishtirokida) qo'llagan holda, aniqlandi va bu natijalar sintez qilingan NS hosilalarini yangi turdagi mukoadgeziv materiallar sifatida qollash imkoniyatlari mavjudligini ko'rsatadi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
DSc.02/30.12.2019.К/ФМ/Т.36.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ
СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ХИМИИ И ФИЗИКИ ПОЛИМЕРОВ**

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ФИЗИКИ ПОЛИМЕРОВ

МАМАДИЁРОВ БУРХОН НОРМУРОДОВИЧ

**СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КАРБОКСИМЕТИЛА И
(МЕТ)АКРИЛАТА, СВОЙСТВА НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

**02.00.05 – Химия и технология целлюлозы и целлюлозно–бумажного производства
02.00.12 – Нанохимия, нанофизика и нанотехнологии**

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

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2025.1.PhD/K721.

Диссертация выполнена в Институте химии и физики полимеров.

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

Научный руководитель: Атаханов Абдумуталиб Абдуятто угли
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Шомуратов Шавкат Абдуганиевич
доктор химических наук
Юнусов Хайдар Эргашевич
доктор технических наук

Ведущая организация: Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Защита диссертации состоится 19 12 2025 г. в 15³⁰ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 при Институте химии и физики полимеров по адресу: 100128, г. Ташкент, ул. Абдулла Кадыри, 76. Тел. (99871) 241-85-94; факс: (99871) 241-26-61, e-mail: polymer@academy.uz

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института химии и физики полимеров за № 50 (Адрес: 100128, г. Ташкент, ул. Абдулла Кадыри, 76. Тел. (99871) 241-85-94)

Автореферат диссертации разослан 7 12 2025 года.
(протокол рассылки № 2 от 7 2025 года).



Н.Р. Рашидова
Член-корреспондент разового Научного совета по присуждению ученых степеней,
д.х.н., профессор, академик

Н.Н. Нургалиев
Учёный секретарь разового Учёного совета по присуждению учёных степеней,
д.ф.-м.н., заведующий лабораторией

Н.Р. Вохидова
Председатель разового научного семинара при Учёном совете по присуждению учёных степеней,
д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (реферат диссертации доктора философии)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мировом научном сообществе наблюдается устойчивый рост интереса к синтезу наноструктурированных полимеров с новыми функциональными свойствами на основе возобновляемых, биоразлагаемых и экологически безопасных природных биополимеров. Особенно перспективными считаются модифицированные формы целлюлозы, обладающие высокой реакционной способностью, что позволяет получать широкий спектр её производных с заданными характеристиками и различными функциональными группами. Такие материалы находят применение в биомедицине, материаловедении, химии и других высокотехнологичных областях.

В современном научном мире активно развиваются исследования, направленные на создание материалов на основе наноцеллюлозы, обладающих потенциалом для доставки лекарственных веществ, ускоренного заживления ран и регенерации тканей, а также широкими перспективами применения в фармацевтике и биомедицине. В этом контексте особое значение приобретает синтез производных наноцеллюлозы с мукоадгезивными свойствами, достигаемый путем функционализации биоразлагаемого и нетоксичного природного полимера — целлюлозы. Разработка таких материалов имеет как фундаментальную, так и прикладную ценность, открывая возможности для создания новых биосовместимых систем с заданными биофункциональными характеристиками.

В Республике также ведётся масштабная работа по развитию направления, связанного с созданием новых фармацевтических препаратов и biomaterialов на основе местного сырья, а также по организации научных исследований на современном уровне и укреплению отечественной фармацевтической промышленности. В частности, на основе природных полимеров — хитозана, целлюлозы и её производных — разработаны новые материалы и препараты со специальными функциональными свойствами. Эти разработки находят применение в фармацевтике, медицине и биомедицине, включая системы доставки лекарственных веществ и создание биосовместимых лекарственных форм. В Стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан¹, Концепции развития науки до 2030 года² поставлены задачи «...увеличения производства новых фармацевтических препаратов...». В этой связи особую значимость приобретают научные и практические исследования, направленные на разработку и внедрение технологий синтеза новых производных наноцеллюлозы. Такие материалы представляют высокий интерес для современной фармацевтической практики Республики Узбекистан, где наблюдается растущий спрос на биосовместимые, эффективные и безопасные

¹Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы».

²Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года № ПФ-4947 «Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года».

полимерные системы для создания перспективных лекарственных форм и фармацевтических композиций.

В определённой степени данное диссертационное исследование способствует выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-3532 от 14 февраля 2018 года «О дополнительных мерах по ускоренному развитию фармацевтической отрасли», №ПП-3489 от 23 января 2018 года «О мерах по дальнейшему регулированию производства и импорта лекарственных средств и изделий медицинского назначения», №ПП-4554 от 30 декабря 2019 года «О дополнительных мерах по углублению реформ в фармацевтической отрасли Республики Узбекистан» и №ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию химической отрасли и повышению ее инвестиционной привлекательности», а также других нормативно-правовых документах, касающихся данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследования выполнены в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Во многих странах мира активно проводятся научные исследования, направленные на синтез наноцеллюлозы и её производных, а также на изучение возможностей их применения в фармацевтической и медицинской сферах. Значительный вклад в развитие данного направления внесли такие учёные, как А. Dufresne, К. Oksman, М. Ielovich, J. Simonsen, А. S. Azizi Samir и ряд других исследователей, работы которых существенно продвинули понимание процессов получения наноцеллюлозы и расширили области её практического использования. Параллельно в ряде стран ведутся интенсивные исследования по созданию мукоадгезивных и лекарственных материалов на основе природных полимеров и её производных. В этом направлении заслуживают особого внимания работы V. V. Khutoryanskiy, R. P. Brannigan, O. M. Kolawole, A. Bernkop-Schnürch и других учёных, исследующих методы модификации природных полимеров и возможности их применения в качестве биосовместимых и функциональных материалов для медицины и фармацевтики.

В развитие данного научного направления в Республике значительный вклад внесли отечественные учёные, проводившие фундаментальные исследования производных целлюлозы, их состава, строения и свойств. Среди них — академики Х. У. Усманов, С. Ш. Рашидова, А. С. Тураев, а также профессора А. А. Саримсаков, Г. Р. Рахмонбердиев и другие, чьи работы способствовали формированию национальной научной школы в области химии целлюлозы и её производных.

До настоящего времени синтез и свойства производных наноцеллюлозы оставались недостаточно изученными и были ограниченно представлены в научной литературе. Проведение фундаментальных и прикладных исследований в данном направлении открывает новые возможности для создания биомедицинских и биоразлагаемых материалов с особыми физико-

химическими характеристиками. Такие производные наноцеллюлозы обладают широким спектром потенциального применения, демонстрируют свойства, отличающиеся от исходной наноцеллюлозы, и при этом сохраняют её нетоксичность и биосовместимость.

Связь исследования с исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках базовых фундаментальных научных исследований Института химии и физики полимеров АН РУз (2020–2024 гг.) и фундаментального проекта ФА–Ф7–Т–008 «Роль электронной структуры и кинетики в создании нанополимерных систем, материалов со специальными свойствами» (2015–2019 гг.).

Целью исследования является синтез карбоксиметил-, глицидилметакрилат-, акрилат- и метакрилат- производных наноцеллюлозы, а также установление их структуры и комплексное изучение физико-химических свойств.

Задачи исследования:

- получение наноцеллюлозы из хлопковой целлюлозы и изучение ее физико-химических свойств;
- синтез натрийкарбоксиметилцеллюлозы суспензионным методом на основе наноцеллюлозы и исследование влияния условий реакции на её структуру и свойства;
- синтез глицидилметакрилатной наноцеллюлозы, а также изучение её структуры и физико-химических характеристик;
- синтез производных наноцеллюлозы, содержащих акрилатные и метакрилатные группы, изучение их структуры и физико-химических свойств;
- изучение специфических свойств, синтезированных производных наноцеллюлозы (карбоксиметил, глицидилметакрилат, акрилат и метакрилат), включая их мукоадгезивных и токсикологических свойств.

Объектами исследования являются хлопковая целлюлоза (ХЦ), наноцеллюлоза (НЦ), карбоксиметилнаноцеллюлоза (КМНЦ), глицидилметакрилатнаноцеллюлоза (ГМАНЦ), метакрилатнаноцеллюлоза (МАНЦ) и акрилатнаноцеллюлоза (АНЦ).

Предметом исследования является синтез КМНЦ, ГМАНЦ, АНЦ и МАНЦ на основе наноцеллюлозы, поиск оптимальных условий синтеза, изучение структуры, физико-химических и медико-биологических свойств образцов.

Методы исследования. В работе использованы методы ИК-Фурье и УФ-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, ЯМР-спектроскопии, кондуктометрического титрования, вискозиметрии, термического анализа, атомно-силовой микроскопии, динамического рассеяния света и методы химического анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

синтезирована водорастворимая КМНЦ с высокой степенью замещения на основе наноцеллюлозы, определены её структура и условия получения;

впервые получено новое производное наноцеллюлозы — ГМНЦ путём модификации наноцеллюлозы глицидилметакрилатом; установлены её структура, свойства;

впервые синтезированы новые производные наноцеллюлозы, содержащие двойные связи — АНЦ и МАНЦ; определены их структура и физико-химические характеристики;

впервые установлено, что КМНЦ, ГМНЦ, АНЦ и МАНЦ, полученные на основе наноцеллюлозы, обладают выраженными мукоадгезивными свойствами, что открывает возможность разработки на их основе новых мукоадгезивных лекарственных форм.

Практические результаты исследования:

разработан способ получения НЦ на основе ХЦ, на полученный продукт подготовлен и утверждён стандарт организации (ТУ 25261285–02:2016), зарегистрированный в Министерстве здравоохранения Республики Узбекистан и Агентстве «Узстандарт», что создало предпосылки для промышленного внедрения технологии производства НЦ;

определены условия проведения процесса получения КМНЦ суспензионным методом на основе НЦ;

разработаны методы синтеза эфиров ГМНЦ, АНЦ и МАНЦ с использованием нового подхода к модификации наноцеллюлозы, установлены условия их получения;

показана возможность использования новых синтезированных производных НЦ в качестве мукоадгезивных материалов, что расширяет перспективы их применения в фармацевтических и биомедицинских технологиях.

Достоверность результатов исследований. Результаты экспериментов по получению НЦ и её производных, а также по изучению их физико-химических и мукоадгезивных свойств были получены с использованием современных физико-химических методов анализа и международных стандартных методик. Полученные научные и практические данные обсуждались на республиканских и международных научных конференциях.

Научно-практическая значимость результатов исследования. Научная значимость работы заключается в том, что из ХЦ с использованием химических и физических методов получена НЦ, обладающая высокой реакционной способностью, что позволило синтезировать на её основе новые производные — КМНЦ, ГМНЦ, АНЦ и МАНЦ. Для каждого из полученных соединений установлены структура, физико-химические свойства и особенности поведения. Впервые изучены мукоадгезивные свойства КМНЦ, ГМНЦ, АНЦ и МАНЦ на моделях слизистых оболочек полости рта, а также исследованы механизмы их взаимодействия с поверхностями слизистых тканей *in vitro*, что расширяет фундаментальные представления о возможностях использования производных наноцеллюлозы в биомедицинских технологиях.

Практическая значимость заключается в том, что синтезированные на основе НЦ производные обладают биodeградируемостью, биосовместимостью, нетоксичностью и выраженными мукоадгезивными свойствами, что делает их

перспективными материалами для создания матриц и систем доставки лекарственных средств.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных научных результатов по теме «Синтез, строение и свойства карбоксиметил- и (мет)акрилатных производных наноцеллюлозы»:

получен патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на способ получения наноцеллюлозы (ИАП 0509 от 28.11.2017). В результате удалось синтезировать образцы с мукоадгезивными свойствами путем модификации производных наноцеллюлозы (в том числе КМНЦ, ГМНЦ, МАНЦ, АНЦ);

зарегистрированы в агентстве «Узстандарт» технические условия на наноцеллюлозу (Тс 25261285–02:2016). В результате данные технические условия позволили контролировать качество продукции и технологический процесс.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, были доложены и обсуждены на 7 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях, что подтверждает их научную значимость и востребованность.

Публикация результатов исследования. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, включая 4 научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для размещения основных научных результатов диссертаций на соискание степени доктора философии (PhD), в том числе 1 публикация в отечественном журнале и 3 публикации в зарубежных научных изданиях.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Объём диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость темы диссертации, определены цели и задачи, объекты и предметы исследования, указывается ее соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники в Республике Узбекистан, описаны ее научная новизна и практические результаты, обосновывается достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, сделаны выводы о перспективах внедрения результатов исследования в практику, приводятся сведения об опубликованных научных трудах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной «Получение, модификация и использование наноцеллюлозы: состояние проблемы и методы её решения», представлен обзор литературы, посвящённый современным подходам к получению НЦ из различного растительного и биополимерного сырья, а также методам её модификации путём введения в структуру различных функциональных групп. Рассмотрены методы синтеза основных производных

НЦ, обсуждены их химическое строение, физико-химические характеристики и области практического применения. Кроме того, проанализированы современные технологии создания систем доставки лекарственных средств, используемых в медицинской практике, их формы, химический состав, структурные особенности и свойства, определяющие фармакологическую эффективность и биодоступность лекарственных препаратов.

Во второй главе диссертации, озаглавленной «Объекты и методы исследования», представлены сведения о сырье и материалах, использованных для получения НЦ и её производных — КМНЦ, ГМНЦ, АНЦ и МАНЦ. Описаны методы синтеза указанных производных на основе НЦ, а также экспериментальные подходы, применённые для изучения их структуры и свойств. Проведена оценка мукоадгезивных характеристик полученных материалов в специально подобранных модельных системах. Кроме того, подробно изложены методы исследования физико-химических свойств наноструктурированных полимеров, включая современные аналитические и инструментальные методы.

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Синтез, строение и свойства производных наноцеллюлозы», изложены результаты по синтезу производных НЦ — КМНЦ, ГМНЦ, АНЦ и МАНЦ, а также представлены данные об их физико-химических свойствах и структурных особенностях. Проанализировано влияние различных функциональных групп, включая карбоксиметил-, акрилат- и метакрилат-, на структуру, степень модификации и физико-химическое поведение полученных образцов. Освещены перспективы применения синтезированных производных НЦ при создании новых мукоадгезивных материалов и лекарственных препаратов пролонгированного действия.

В качестве сырья для получения производных НЦ были использованы ранее полученные образцы НЦ. Исходная НЦ была получена путём кислотного гидролиза ХЦ в водных растворах H_2SO_4 концентрацией 61% и 65%, в результате чего были получены образцы НЦ-1 и НЦ-2. После гидролиза суспензии дополнительно подвергали высокочастотному ультразвуковому диспергированию. Установлено, что структура образцов НЦ-1 и НЦ-2 в процессе гидролиза существенно не изменилась по сравнению со структурой исходной целлюлозы: в их ИК-Фурье спектрах сохраняются характерные полосы поглощения, присущие целлюлозе. Морфологический анализ показал, что образец НЦ-1 состоит из игольчатых частиц размером 150–500 нм и характеризуется высокой степенью кристалличности (84%). В то время как образец НЦ-2 представлен аморфными частицами, включая сферические формы, размером 50–300 нм и обладает степенью кристалличности 25%.

При изучении реологических свойств водных суспензий полученных образцов НЦ было установлено, что их поведение существенно различается в зависимости от морфологии наночастиц. Реологические исследования проводили на 5%-ных водных суспензиях НЦ; для сравнения был проанализирован также образец микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) с частицами микронного размера. Начальный участок зависимости скорости

сдвига ($\dot{\gamma}$) от напряжения сдвига (σ) носит линейный характер, однако в целом зависимость является криволинейной. При увеличении $\dot{\gamma}$ наблюдается рост σ , при этом значения предельной текучести суспензий существенно различаются в зависимости от формы и размера частиц: для НЦ-2 $\sigma_{\dot{\gamma}} = 62$ Па; для НЦ-1 $\sigma_{\dot{\gamma}} = 39$ Па; для МКЦ $\sigma_{\dot{\gamma}} = 26$ Па. Полученные результаты демонстрируют, что реологическое поведение наночастиц целлюлозы в сдвиговом потоке определяется их морфологией, величиной приложенного сдвигового напряжения и температурой среды.

В ходе дальнейших исследований были проведены работы по получению КМНЦ суспензионным методом, а также по определению её структуры и свойств. Для этого НЦ обрабатывали раствором гидроксида натрия в спиртовой среде, после чего в качестве алкилирующего реагента вводили монохлоруксусную кислоту (МХУК).

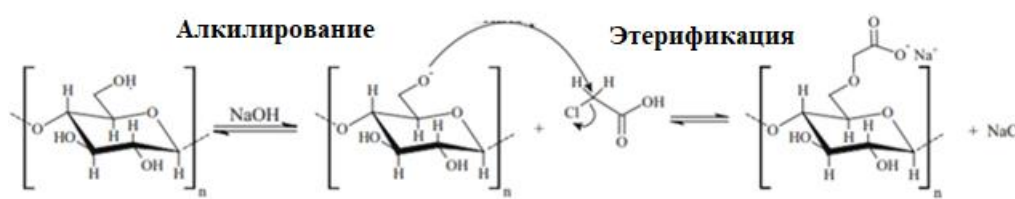


Рис. 1. Реакция синтеза КМНЦ

Было изучено влияние переменных факторов — концентрации щёлочи, температуры, времени реакции и расхода МХУК — на значение СЗ при карбоксиметилировании образцов НЦ-1 и НЦ-2.

Установлено, что при увеличении концентрации щёлочи до 8% СЗ КМНЦ возрастает, однако при дальнейшем повышении концентрации наблюдается снижение этого показателя вследствие частичного гидролиза МХУК и протекания побочных реакций. Максимальная СЗ для НЦ-1 достигается при 70°C и времени 90 минут, а для НЦ-2 — при 55°C и времени 60 минут. СЗ значительно увеличивалась при увеличении расхода МХУК, соотношение 1:2 было определено как оптимальное. Полученные образцы КМНЦ, синтезированные из НЦ-1 и НЦ-2, характеризуются полной растворимостью в воде. СЗ составили 1,24 и 1,46 соответственно (таблица 1).

Таблица 1

Показатели качества образцов КМНЦ, полученных из НЦ-1 и НЦ-2

№	Исходный образец	СП	Показатели качества КМНЦ			
			СП	СЗ	Выход готовой продукции, %	Растворимость, %
3.	НЦ-1	178	143	1.24	89	100
4.	НЦ-2	112	90	1.46	93	100

В спектрах ИК-Фурье образцов КМНЦ наблюдалось появление полосы поглощения, принадлежащей карбонильным группам (C=O) на длине волны 1605 см⁻¹, а появление аморфного гало на рентгенограммах свидетельствовало об аморфной структуре образцов КМНЦ.

На следующем этапе исследований были проведены работы по синтезу производных наноцеллюлозы, содержащих двойную связь.

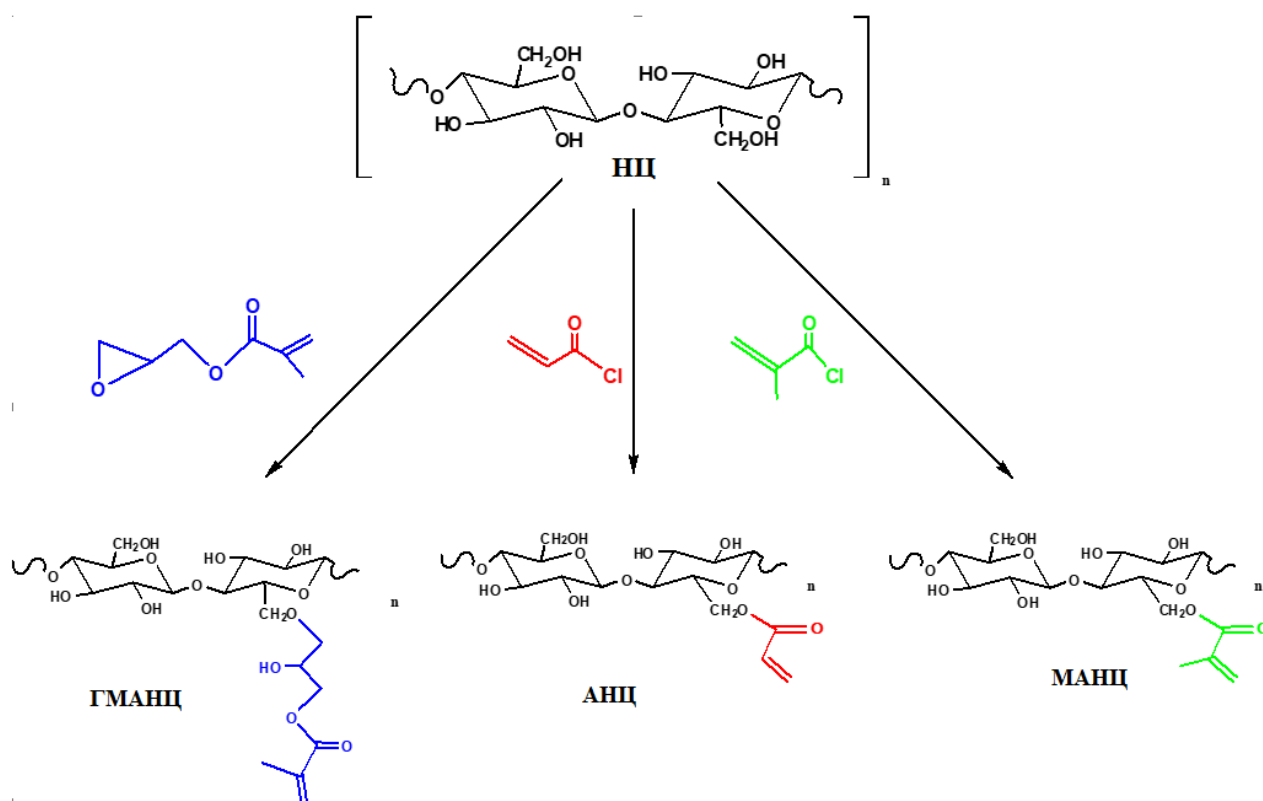


Рис. 2. Схема реакции синтеза ГМАНЦ, АНЦ и МАНЦ.

Синтез производного наноцеллюлозы ГМАНЦ проводился в присутствии катализатора 4-диметиламинопиридина (ДМАП) в растворителе диметилсульфоксид (ДМСО) (рис. 2). Для определения условий синтеза ГМАНЦ было исследовано влияние варьируемых параметров реакции — температуры, времени и мольного соотношения реагентов на СЗ. Установлено, что максимальная СЗ достигается при 40 °С, длительности реакции 70 часов и мольном соотношении НЦ : ГМА = 1 : 1,2.

Исследование ГМАНЦ методом УФ-спектроскопии показало, что электронные переходы, характерные для связей C=O и C=C, наблюдаются в $\pi \rightarrow \pi^*$ и $n \rightarrow \pi^*$, которые различаются по интенсивности и энергии переходов. Полоса поглощения, соответствующая $n \rightarrow \pi^*$ переходам карбонильной группы (C=O), фиксируется в области около 350 нм. Однако согласно правилу Вудворда—Физера, присутствие сопряжённых связей и электронодонорных заместителей приводит к батохромному сдвигу (в область больших длин волн).

В инфракрасных спектрах ГМАНЦ наблюдаются все характерные полосы поглощения, присущие исходной целлюлозе. В отличие от спектров НЦ, в области 1720 см^{-1} появляется выраженная полоса поглощения, соответствующая валентным колебаниям карбонильных групп (C=O) глицидилметакрилатного фрагмента. Кроме того, в областях 1620 и 813 см^{-1} фиксируются полосы, относящиеся к валентным и деформационным колебаниям связи C=C, что подтверждает успешное введение метакрилатных групп в структуру наноцеллюлозы (рис. 3).

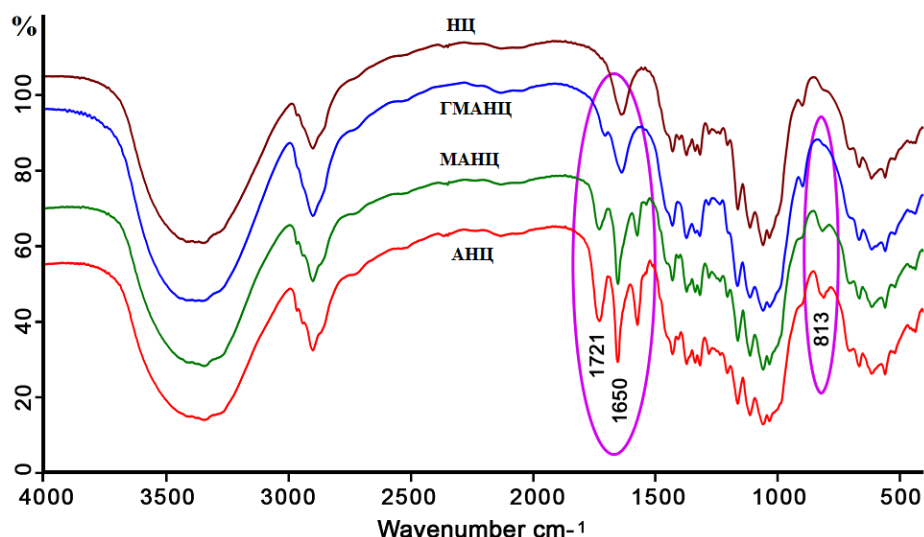


Рис. 3. ИК-спектры образцов НЦ, ГМАНЦ, АНЦ и МАНЦ

Рентгеноструктурный анализ образцов НЦ и ГМАНЦ показал, что степень кристаллизации ГМАНЦ составляет 78%, что несколько ниже значения для исходной НЦ (84%).

Анализ спектров ЯМР ГМАНЦ показал наличие дополнительных сигналов, отсутствующих в спектрах исходной НЦ. В области 2,25–2,75 м.д. и около 6,25 м.д. регистрируются пики, соответствующие протонам при двойной связи (C=C) метакрилатного фрагмента. Кроме того, в районе 2,3 м.д. наблюдаются сигналы, относящиеся к протонам метиленовой группы C–CH₂–, что подтверждает прививку глицидилметакрилатных групп на наноцеллюлозную матрицу (рис. 4).

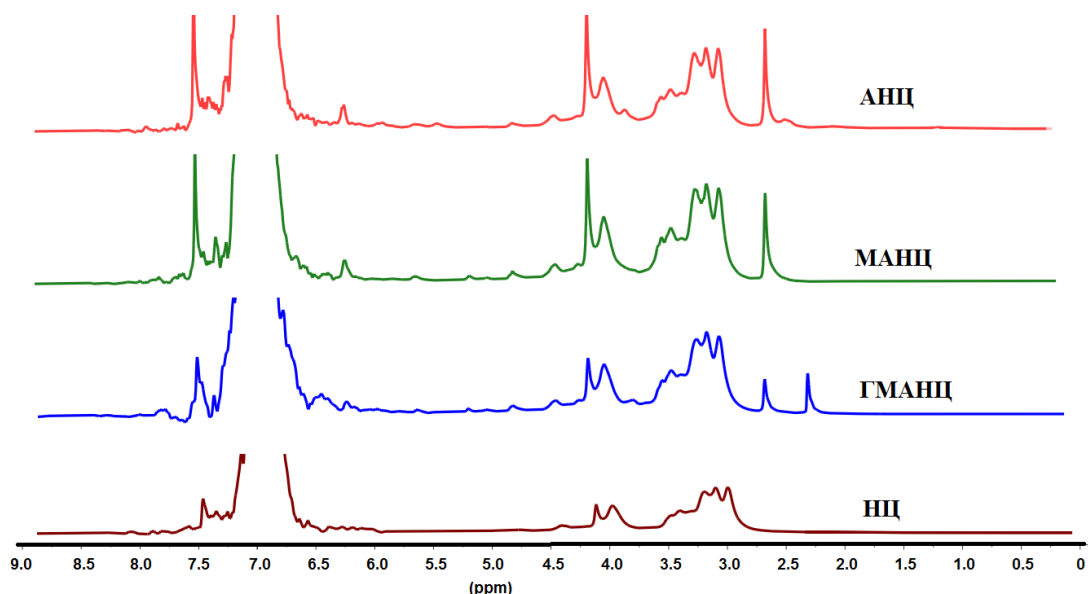


Рис. 4. ЯМР-спектры образцов НЦ, ГМАНЦ, МАНЦ и АНЦ

Анализ размера частиц методом динамического светорассеяния (ДЛС) показал, что водная суспензия НЦ характеризуется полимодальным распределением частиц, размеры которых варьируют от нано- до микрометрового диапазона.

Результаты атомно-силовой микроскопии подтвердили, что процесс модификации существенно влияет на морфологию частиц НЦ. Было показано, что в модифицированных образцах наблюдаются частицы шириной 60–180 нм и длиной 180–600 нм. Кроме того, в результате модификации НЦ формируются частицы вытянутой эллипсоидальной формы размером 200–350 нм (рис. 5).

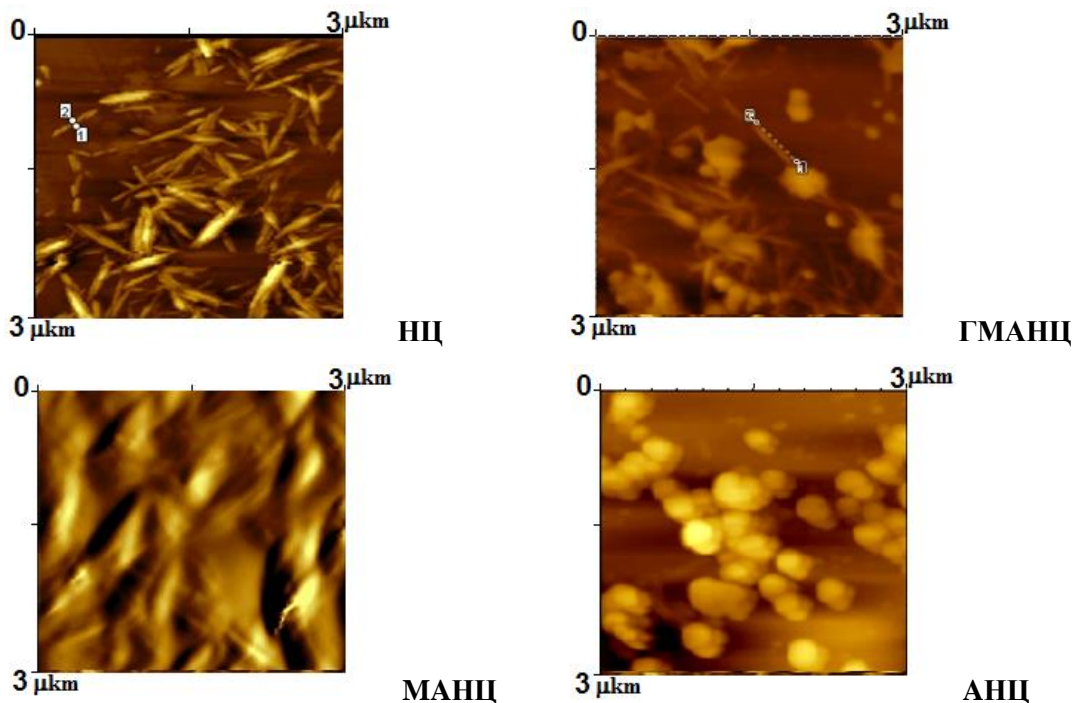


Рис. 5. АСМ снимки образцов НЦ, ГМАНЦ, МАНЦ и АНЦ

Термограммы термогравиметрического анализа (ТГА) целлюлозы и её производных показали, что процесс термического разложения образцов протекает в три стадии. Первая стадия, наблюдаемая при нагревании до 100 °С и сопровождающаяся потерей массы на 5–9%, связана с удалением адсорбированной влаги. Вторая стадия, проявляющаяся в интервале 200–300 °С, вероятно обусловлена термоокислительными процессами и разложением целлюлозной структуры (рис. 6).

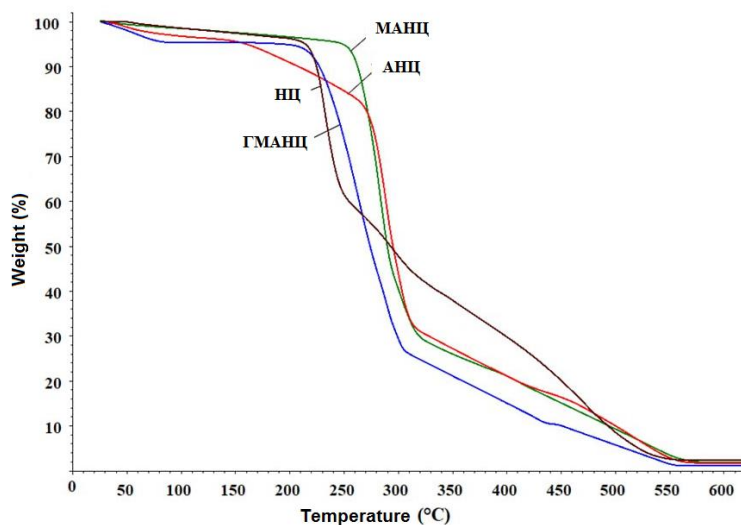


Рис. 6. Термограммы образцов НЦ, ГМАНЦ, МАНЦ и АНЦ

Далее были проведены исследования по синтезу акрилатных и метакрилатных производных НЦ и их структуры (рис. 2).

Было изучено влияние основных параметров синтеза АНЦ и МАНЦ на формирование целевого продукта. Рассмотрены эффекты времени реакции, температуры и мольного соотношения реагентов, что позволило определить благоприятные условия получения данных производных НЦ. Установлено, что максимальная СЗ достигается при 40 °С, длительности часа и мольном соотношении этерифицирующего агента к наноцеллюлозе равном 1:1,5.

Результаты УФ-спектроскопических исследований показали, что в спектрах, исследуемых образцов регистрируются три основных полосы поглощения — приблизительно при 196, 226 и 290 нм. Полоса в области 190–210 нм соответствует π - π^* переходам в карбонильных группах (C=O) и частично перекрывается с переходами, характерными для альдегидных фрагментов. Полосы поглощения в диапазоне 260–290 нм соответствуют n - π^* электронным переходам, характерным для сопряжённых связей и карбонильных групп. Увеличение количества таких групп приводит к усилению батохромного сдвига, что согласуется с правилами Вудворда–Физера и свидетельствует о повышенной электронной делокализации в модифицированных образцах.

В ИК-спектрах образцов АНЦ и МАНЦ обнаружена новая полоса поглощения в области 1700–1720 см^{-1} , соответствующая валентным колебаниям карбонильных групп C=O, характерных для эфирных связей, образующихся в процессе этерификации. Появление данной полосы указывает на увеличение числа замещённых групп (рис. 3). Полосы при 1650 см^{-1} и 813 см^{-1} свидетельствуют о присутствии двойных связей C=C в акрилатных и метакрилатных фрагментах. На основании анализа ИК-спектров была рассчитана степень замещения, которая составила 17% для МАНЦ и 25% для АНЦ.

Аморфно-кристаллическая структура производных НЦ была исследована методом рентгеноструктурного анализа. Индекс кристалличности составил 84% для исходной НЦ, 73% для МАНЦ и 63% для АНЦ. Эти результаты показывают, что процесс модификации приводит к частичному нарушению кристаллической структуры целлюлозы, что может быть обусловлено тем, что химическая модификация преимущественно протекает на поверхности кристаллитов наноцеллюлозы.

В спектрах ЯМР образцов АНЦ и МАНЦ наблюдаются дополнительные сигналы в области химических сдвигов 2,25–2,75 м.д. и около 6,25 м.д., которые соответствуют протонам ненасыщенных C=C-групп акрилатных и метакрилатных фрагментов. Кроме того, в области 2,7 м.д. фиксируется новый сигнал, обусловленный протонами метильной группы –CH₃ (рис. 4).

Исследования методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) показали, что в процессе этерификации размер и форма частиц НЦ существенно изменяются: формируются вытянутые эллипсоидальные структуры размером 200–350 нм (рис. 5).

Результаты термического анализа показали, что производные НЦ, включая МАНЦ, обладают более высокими температурами термического разложения по сравнению с исходной НЦ (рис. 6). Вероятно, это связано с присутствием в их структуре ненасыщенных связей $C=C$. При повышении температуры данные группы способны вступать в реакции полимеризации, приводя к образованию частично сшитых структур, что способствует увеличению термической стабильности. Кроме того, более высокая температура разложения наблюдается у образцов с большей степенью замещения.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной «Исследование возможностей использования производных наноцеллюлозы в качестве мукоадгезивных материалов», анализируются перспективы применения наноцеллюлозы и её производных в различных практических областях, прежде всего — в качестве биологически активных систем и средств доставки лекарственных веществ.

Для оценки мукоадгезивной способности НЦ и её производных их метили флуоресцеин-изотиоцианатом (FITC). В качестве положительного контроля использовали НЦ, а в качестве отрицательного — FITC-декстран, обладающий ограниченной мукоадгезией. Эксперименты проводили на поверхности слизистой оболочки полости рта овец. Полученные образцы исследовали с использованием флуоресцентного микроскопа, фиксируя соответствующие изображения (рис. 7).

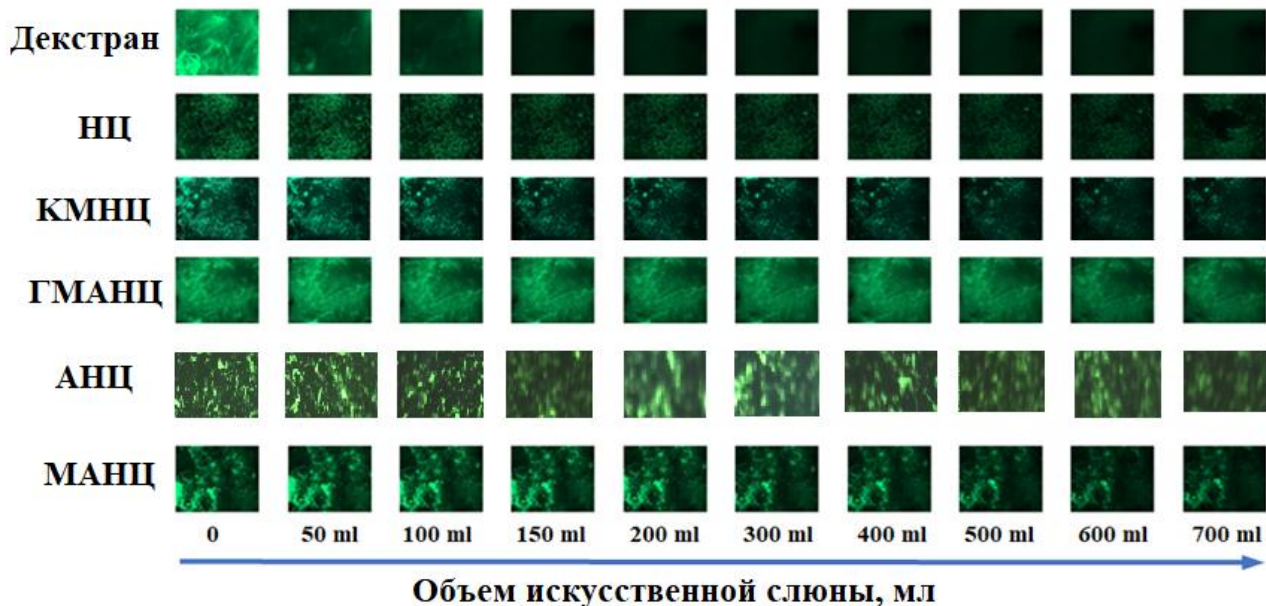


Рис. 7. Микроскопические изображения, демонстрирующие адгезию образцов слизистой оболочки полости рта овец, промытых различными объемами растворов искусственной слюны.

Результаты исследования показали, что образцы КМНЦ, ГМАНЦ, МАНЦ и АНЦ обладают мукоадгезивными свойствами, превосходящими мукоадгезию исходной НЦ в 2–9 раз. Наиболее высокие мукоадгезивные характеристики продемонстрировал образец АНЦ, что коррелирует с более высокой степенью его замещения (рис. 8).

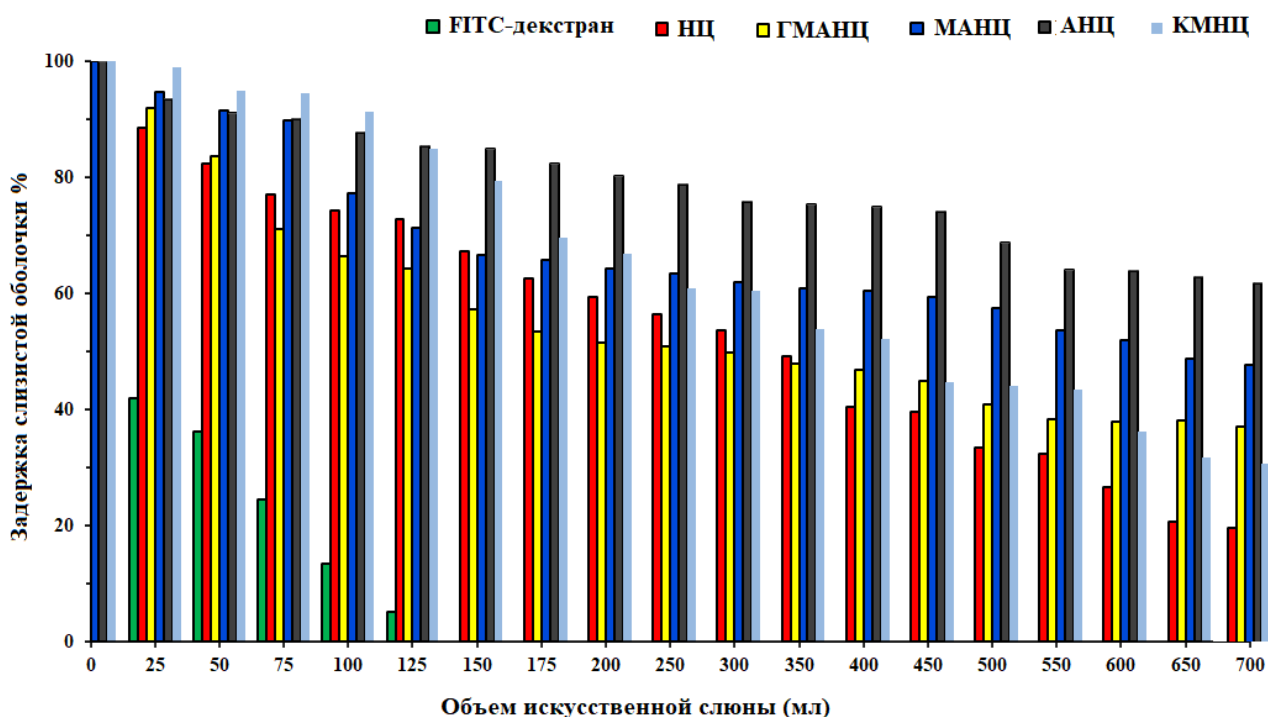


Рис. 8. Удержание меченых образцов НЦ, ГМАНЦ, МАНЦ и АНЦ на слизистой оболочке тканей ротовой полости овец

Для дополнительной оценки мукоадгезивных свойств наноцеллюлозы и её производных был использован метод Texture Analyzer. В данном методе сила, необходимая для отделения образца от слизистой оболочки (сила отрыва или сила адгезии), определяется как усилие, позволяющее преодолеть адгезионные взаимодействия между полимерным материалом и слизистой. Общая величина адгезии рассчитывается как площадь под кривой «сила–расстояние» (рис. 9).

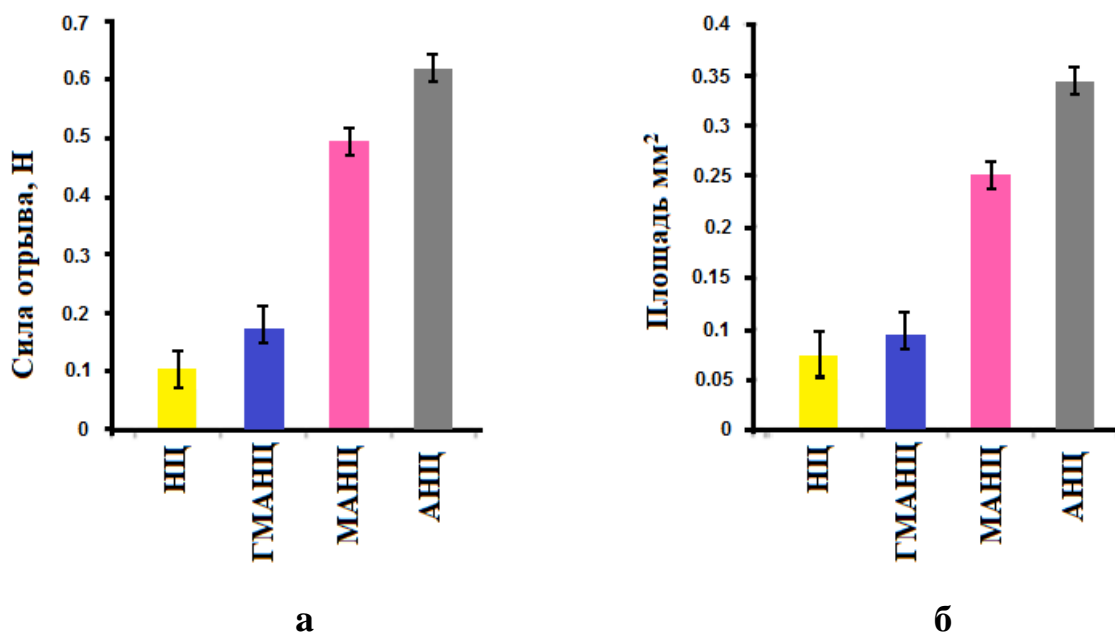


Рис. 9. Сила отрыва (а) и площадь адгезии (б) слизистой оболочки полости рта овец от образцов НЦ, ГМАНЦ, МАНЦ и АНЦ

Результаты исследований показали, что по сравнению с исходной НЦ её производные обладают существенно более высокими мукоадгезивными свойствами. Наибольший индекс адгезии продемонстрировал образец АНЦ, что коррелирует с его более высокой степенью замещения. В целом адгезионная прочность полимеров хорошо согласуется с их интегральной площадью адгезии: более высокие значения силы отрыва и площади под кривой зарегистрированы у образцов МАНЦ и АНЦ по сравнению с исходной НЦ.

Степень адгезии синтезированных производных наноцеллюлозы к слизистой оболочке была также оценена методом «вращающегося цилиндра». Установлено, что время удержания образца АНЦ превышает аналогичный показатель для НЦ в 9 раз, а для МАНЦ — в 6 раз. Такой эффект объясняется возможным образованием взаимодействий между акрилатными группами полимера и тиоловыми группами слизистой оболочки. Полученные данные свидетельствуют о существенном повышении мукоадгезивной активности функционализированных производных НЦ. Усиление этих свойств наблюдается в следующем ряду: НЦ < КМНЦ < ГМАНЦ < МАНЦ < АНЦ.

Токсикологические свойства производных наноцеллюлозы, в частности степень раздражения слизистой оболочки (мукозальная токсичность), оценивали с использованием альтернативных тестов *in vitro*, которые в настоящее время широко применяются в фармацевтической и косметической промышленности. Преимущество данного подхода заключается в сокращении необходимости проведения традиционных токсикологических испытаний на животных и возможности оценивать безопасность веществ, контактирующих со слизистой оболочкой, на основе высокочувствительных биомоделей.

В качестве такой биомодели используются слизи видов *Arion lusitanicus* или *Lehmanna valentiana*, обладающие крайне чувствительной слизистой поверхностью. При воздействии внешних раздражителей у слизи усиливается секреция слизи — этот показатель служит количественным индикатором токсичности тестируемого вещества.

В качестве положительного контроля применяли бензалкония хлорид (БАХ), а отрицательным контролем служил полифосфатный буферный раствор (PBS). Подтверждено, что БАХ вызывает выраженное раздражение слизистой оболочки и относится к веществам, непригодным для использования в качестве мукоадгезивных носителей. В свою очередь, PBS (7,0) и НЦ (5,8), использовавшиеся как образцы с низкой токсичностью, показали минимальные значения раздражающего эффекта (рис. 10). Модифицированные производные наноцеллюлозы продемонстрировали показатели, сопоставимые с PBS. Значение для КМНЦ (7,0) подтверждает его высокую биосовместимость со слизистой. ГМАНЦ (6,2) проявила слегка повышенный показатель, что может быть связано с присутствием эпоксидных групп и их возможным слабым химическим взаимодействием со слизистой оболочкой; тем не менее значение остаётся в диапазоне низкой токсичности, что позволяет рассматривать ГМАНЦ как перспективный мукоадгезивный полимер.

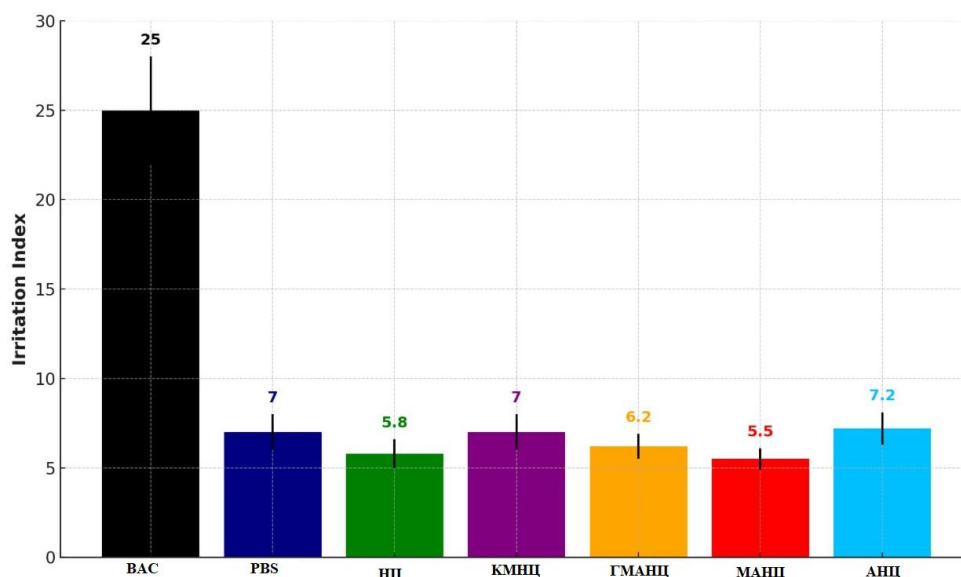


Рис. 10. Уровень продукции слизи в тесте оценки воздействия на слизистую оболочку

МАНЦ (5,5) продемонстрировала один из самых низких уровней раздражающего действия и, следовательно, обладает высокой совместимостью со слизистой оболочкой и наибольшей безопасностью среди исследованных образцов. Хотя показатель АНЦ (7,2) был несколько выше, он остаётся в пределах, близких к PBS, что позволяет считать АНЦ безопасным для использования в качестве носителя лекарственных веществ для трансмукозной доставки.

Результаты исследования показали, что НЦ и её производные (Na-КМНЦ, ГМАНЦ, МАНЦ, АНЦ) демонстрируют показатели, находящиеся в диапазоне, безопасном для слизистой оболочки, что подтверждает их высокий потенциал для применения в фармацевтических и биомедицинских технологиях. Особенно выделяется МАНЦ, характеризующаяся наименьшим индексом раздражения, что позволяет рассматривать её как наиболее безопасного и перспективного кандидата для создания систем доставки лекарственных средств, контактирующих со слизистой оболочкой. В то же время производные Na-КМНЦ, АНЦ и ГМАНЦ также представляют значительную научную и практическую ценность благодаря низкой степени токсичности и сочетанию структурных и функциональных характеристик, обеспечивающих эффективность их использования в качестве биоматериалов.

ВЫВОДЫ

В результате исследований, проведенных по диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по теме «Синтез, строение и свойства карбоксиметил- и (мет)акрилатных производных наноцеллюлозы», представлены следующие выводы:

1. Синтезированы водорастворимые образцы карбоксиметилнаноцеллюлозы (КМНЦ-1 и КМНЦ-2) с высокой степенью замещения (1,26 и 1,46) на основе наноцеллюлозы с высокой (83%) и низкой

(25%) степенью кристалличности. Определены условия синтеза: концентрация NaOH — 8%, температура 55–70 °С, время реакции 60–90 мин, расход монохлоруксусной кислоты — 2 моль на 1 моль НЦ. Структура и свойства КМНЦ подтверждены методами ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, АКМ и другими физико-химическими методами.

2. Синтезировано новое производное nanoцеллюлозы — ГМАНЦ, путем прививки глицидилметакрилата к НЦ; научно и экспериментально обоснованы выбор растворителя (ДМСО), катализатора (ДМАП) и условия синтеза (40 °С, 70 ч, мольное соотношение 1:1,2). Структура ГМАНЦ подтверждена методами ИК-спектроскопии (появление полос C=O — 1720 см⁻¹; C=C — 1620 и 813 см⁻¹), рентгенофазового анализа (СК 78%), ¹H-ЯМР (сигналы в областях 2,25–2,75 и 6,25 м.д.), УФ-спектроскопии (π - π^* и n - π^* переходы при 190–230 и 260–290 нм).

3. Синтезированы новые производные nanoцеллюлозы - АНЦ и МАНЦ методом этерификации НЦ в среде ДМФ при использовании ДМАП как катализатора и триэтиламина как нейтрализующего агента. Определены условия синтеза: 40 °С, 23 ч, мольное соотношение реагентов 1:1,5. Структура синтезированных производных НЦ подтверждена данными ЯМР (характерные пики ненасыщенных групп), ИК-спектроскопией (C=O — 1700–1720 см⁻¹; C=C — 1650 и 813 см⁻¹), качественным анализом (перманганатным тестом - реакция с KMnO₄). Установлено, что чем меньше молекулярный размер модифицирующего агента, тем выше степень замещения (25% для АНЦ, 17% для МАНЦ) и ниже степень кристалличности (63% и 73% соответственно).

4. Методами флуоресцентной микроскопии и анализа текстуры (*in vitro*) установлено, что модифицированные производные НЦ обладают значительно более высокой мукоадгезивной активностью (в 2–9 раз выше, чем исходная НЦ). Повышение адгезионных свойств связано с наличием карбоксильных групп и ненасыщенных фрагментов (C=C), обеспечивающих дополнительное взаимодействие со слизистой оболочкой. Показано, что мукоадгезивность возрастает в ряду: НЦ < ГМАНЦ < МАНЦ < АНЦ.

5. На основании предварительных исследований (тесты *in vitro* с использованием слизей вида *Lehmannia valentiana*) установлено, что синтезированные производные НЦ обладают низкой токсичностью, и эти результаты свидетельствуют о возможности использования синтезированных производных НЦ в качестве новых типов мукоадгезивных биосовместимых материалов.

**ONE TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE SCIENTIFIC
COUNCIL FOR AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 AT THE INSTITUTE
OF POLYMER CHEMISTRY AND PHYSICS**

INSTITUTE OF POLYMER CHEMISTRY AND PHYSICS

MAMADIYOROV BURKHON NORMURODOVICH

**SYNTHESIS, STRUCTURE AND PROPERTIES OF CARBOXYMETHYL
AND (METH)ACRYLATE NANOCELLULOSE.**

**02.00.05 – Chemistry and technology of cellulose and cellulose–paper production
02.00.12–Nanochemistry, nanophysics and nanotechnology**

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

Tashkent – 2025

The title of the doctoral dissertation has been registered by the the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with registration number of B2021.1.PhD/K721.

The doctoral dissertation has been carried out at the Institute of Polymer Chemistry and Physics Academy Sciences of Uzbekistan.

The abstract of doctoral dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available on the website of the Research Council (polchemphys.uz) and the «ZiyonET» information and educational portal (www.ziyonet.uz)

Scientific supervisor: **Atakhanov Abdumutolib**
Doctor of Technical Science, Professor

Official opponents: **Shomuradov Shavkat**
Doctor of Chemical Science

Yunusov Haydar
Doctor of Technical Science


Leading organization: **Tashkent institute of textile and light industry**


The defense of the dissertation will take place on « 19 » of December 2025 at « 15³⁰ » at a meeting of Scientific council DSc.02.30.12.2019.K/FM/T.36.01 at the Institute of Polymer Chemistry and Physics (Address: 100128, Tashkent, Abdulla Kadiri str., 7^o, Tel.: (998-71)-241-85-94; fax: (998-71) 241-26-61; e-mail: polymer@academy.uz).


The doctoral dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of Institute of Polymer Chemistry and Physics (registration number) (Address: 100128, Tashkent, Abdulla Kadiri str., 7^o, Ph.: (998-71)-241-85-94;).

The abstract of the dissertation is distributed on « 7 » of 12 2025 y.
(Protocol at the register № 2 dated « 7 » of 12 y 2025 y).




S. Rashidova
Chairman of the one-time scientific council
for the award of scientific degrees
doctor of chemical science, professor, academician


I. Nurgaliyev
Secretary of the one-time scientific
council for the award of scientific degrees,
doctor of physical and mathematical sciences


N. Vokhidova
Chairman of the one-time scientific seminar under
the Academic Council for the Award of Scientific
Degrees, Doctor of Chemical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work synthesis, structure and properties of carboxymethyl and (meth)acrylate nanocellulose.

The object of research work is cotton cellulose (CC), nanocellulose (NC), sodium carboxymethyl nanocellulose (CMNC), glycidyl methacrylate nanocellulose (GMANC), methacrylate nanocellulose (MANC) and acrylate nanocellulose (ANC).

Scientific novelty of the research work:

a water-soluble KMNC with a high degree of substitution was synthesized based on nanocellulose, and optimal process conditions were investigated;

for the first time, a new GMANC was synthesized by modifying nanocellulose with glycidyl methacrylate, and its properties and structure were investigated;

for the first time, new derivatives of nanocellulose containing a double bond group, ANC and MANC, were synthesized, and their structure and physicochemical properties were investigated;

for the first time, it was determined that KMNC, GMANC, ANC and MANC synthesized based on nanocellulose have high mucoadhesive properties and that there is a possibility of obtaining mucoadhesive preparations based on them.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the topic “Synthesis, structure and properties of carboxymethyl and (meth)acrylate derivatives of nanocellulose”:

a patent for the invention of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for the method of obtaining nanocellulose was obtained (IAP 0509, 28.11.2017). As a result, it was possible to synthesize samples with mucoadhesive properties by modifying nanocellulose derivatives (including KMNC, GMANC, MANC, ANC);

technical specifications for nanocellulose (Tc 25261285–02:2016) were registered by the “Uzstandart” agency. As a result, these technical specifications allowed to control the quality of products and the technological process.

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

E‘LON QILINGAN ISHLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I часть; part I)

1. Ataxanov A.A., Mamadiyurov B.N., Abdullayeva N., Turdiqulov I.H., Nurgaliyev I., Yunusov H.E., Rashidova S.Sh. Isolation of Nanosellulose from Cotton Cellulose and Computer Modeling of Its Structure. Open Journal of Polymer Chemistry, 2019. –pp. 117–129 (05.00.00, №25)

2. Атаханов А.А., Мамадиёров Б.Н., Холмуминов А.А., Турдикулов И.Н., Ашуров Н.Ш. Реологическое поведение водных суспензий наноцеллюлозы. Высокмолекулярные соединения, 2020, Серия А, том 62, с. 189–194 (№3. Scopus, IF=0.244)

3. Муслимова М.А., Мамадиёров Б.Н., Шахобутдинов С.Ш., Югай С.М., Ашуров Н.Ш., Атаханов А.А. Структурные исследование глицидилметакрилатцеллюлозы. Узбекский химический журнал, 2022, стр.61–66 (02.00.00, №6,)

4. Atakhanov A.A., Ashurov N.Sh., Mamadiyurov B.N., Kuzieva M.M., Ergashev D.J., Rashidova S.S., Khutoryanskiy V.V. Novel acryloylated and methacryloylated nanocellulose derivatives with improved mucoadhesive properties. Macromolecular Bioscience, 2024, T. 24, C. 2400183. (№3. Scopus, IF=4.1)

5. Atakhanov A., Ashurov N., Abdurazakov M., Shakhobutdinov S., Yugay S., Mamadiyurov B., Yildiz, H. B. Preparation and properties of nanocomposite films based on carboxymethylcellulose and melanin from Cladosporium endophytic fungus. Polymer Bulletin. -2025. -pp. 1–19. (№3. Scopus, IF=0.658)

II bo‘lim (II часть; part II)

1. Абдураззаков М., Мамадиёров Б.Н., Атаханов А.А. Термический анализ микро-и нанопроизводных целлюлозы. “Целлюлоза ва унинг ҳосилаларини кимёси ва технологиясини долзарб муаммолари” Республика илмий-техникавий анжумани, Тошкент 15-17 май 2018-йил Тезислар тўплами, 198-199 бетлар.

2. Мамадиёров Б.Н., Холмуминов А.А., Атаханов А.А. Реологические исследования наноцеллюлозы. “Инновацион ривожланиш даврида интенсив ёндашув истиқболлари” халқаро анжумани. Наманган, 10-11 июль 2018-йил Тезислар тўплами, 228-230 бетлар.

3. Мамадиёров Б.Н., Назарова З.М., Саидмухамедова М.К., Акбарова С.Р., Сафаев Н.Д., Раҳмедова Ш., Карабаева Б.С., «Сравнительное исследование бумагообразующих свойств целлюлозы, получения из различного сырья». “Целлюлоза ва унинг ҳосилаларини кимёси ва технологиясини долзарб муаммолари” Республика илмий-техникавий анжумани, Тошкент 15-17 май 2018-йил. Тезислар тўплами, 214-215 бетлар.

4. Мамадиёров Б.Н., Турдикулов И.Х., Атаханов А.А., Холмуминов А.А., Қўзиева М.М. Исследование реологических свойств водных суспензий наноцеллюлозы. “Современные проблемы науки о полимерах” Узбекско-

Казакский Симпозиум, Ташкент, 27-28 сентябрь, 2018 год. Сборник тезисов. 138-140 стр.

5. Атаханов А.А., Мамадиёров Б.Н., Абдуллаева Н., Эргашев Д.Ж. Особенности формирования наночастиц целлюлозы и перспективы их применения. Межд. конф. «Современные проблемы науки о полимерах», Ташкент 31 октября- 1 ноября 2019 года, 12-13 стр.

6. Мамадиёров Б.Н., Абдуллаева Н., Атаханов А.А. Қоғоз олишда наноцеллюлозани қўллаш. Межд. конф. «Современные проблемы науки о полимерах», Ташкент 31 октября- 1 ноября 2019 года, 104-105 стр.

7. Атаханов А.А., Мамадиёров Б.Н., Эргашев Д., Карева Н.Д., Рашидова С.Ш. Сравнительные исследования реакционной способности хлопковой Целлюлозы, микрокристаллической целлюлозы и наноцеллюлозы при периодатном окислении. Восьмая всероссийская Каргинская конференция «Полимеры в стратегии научно-технического развития РФ «Полимеры — 2020»», 9-13 ноября 2020 года, сборник тезисов 360 стр.

8. Мамадиёров Б.Н., Кулумбетов А.С., Эргашев Д.Ж., Ашуров Н.Ш., Атаханов А.А. Турли хил шароитда олинган наноцеллюлозанинг структурасини Физикавий усулларда тадқиқ қилиш. «Полимерлар хақидаги фаннинг замонавий муаммолари» Республика илмий анжумани Тезислар тўплами 25-26 ноябр 2020-йил.

9. Мамадиёров Б.Н., Атаханов А.А.. Исследование возможности получения серебросодержащего нанокомпозита на основе наноцеллюлозы. Международная Узбекско-Белорусская научно-техническая конференция «Композиционные и металлополимерные материалы для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства», 21-22 мая 2020 года, 312-314 стр.

Avtoreferat “O‘zbekiston Polimerlar jurnali” tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib,
o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 06.12.2025.
Bichimi: 60x84^{1/16} «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 2,75. Adadi 100. Buyurtma: № 205
Tel: (99) 832 99 79; (77) 300 99 09
Guvohnoma reestr № 10-3279
“IMPRESS MEDIA” MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko‘chasi, 6-uy.