

UO‘K: 661.728.7:620.3

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.41

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SELYULOZA NANOKRISTALLARI VA FUNKSIONAL AKRIL MONOMERLARI O‘RTASIDAGI KIMYOVIY REAKSIYANI TADQIQ ETISH HAMDA ULARNING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARINI O‘RGANISH



**Tursunboyev Alisher
Qurbonmurod o'g'li**

Qarshi davlat texnika universiteti
assistent-o'qituvchisi, Shahrizabz,
O'zbekiston
E-mail:
alishertursunboyev96@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-3614-0298
Science ID: MQD-0126-0035



**Ochilov Abduraxim
Abdurasulovich**

T.f.d., dotsent, kafedra mudiri,
Buxoro davlat texnika universiteti,
Buxoro, O'zbekiston
E-mail: ochilov82@gmail.ru
ORCID ID: 0009-0006-0725-3245



**Maxmudov Rafiq
Amonovich**

T.f.d., professor, kafedra professori,
Buxoro davlat texnika universiteti,
Buxoro, O'zbekiston
E-mail:
rafiqmaxmudov330@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-0811-2233

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda selluloza nanokristallari (SNK) va funksional akril monomer — 2-karboksietil akrilat (2KEA) o'rtasidagi kimyoviy reaksiya o'rganilib, hosil bo'lgan mahsulotning morfologik, strukturaviy va termik xususiyatlari kompleks tadqiq qilindi. Reaksiya kaliy persulfat (KPS) inisiatori ishtirokida 60–70 °C haroratda amalga oshirildi. Olingan mahsulotning xossalari skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), infraqizil spektroskopiya (IQ), termogravimetrik (TGA) va differensial termogravimetrik (DTG) tahlil usullari yordamida baholandi. SEM natijalari reaksiya natijasida selluloza nanokristallarining dastlabki tayoqchasimon morfologiyasi o'zgarib, zarrachalar agregatsiyasi va zichroq tuzilma hosil bo'lganini ko'rsatdi. IQ tahlilida 1732, 1545, 2922 va 2853 cm^{-1} sohalaridagi xarakterli yutilish cho'qqilari 2KEA fragmentlarining selluloza nanokristallari bilan o'zaro ta'sirlashganini tasdiqladi. DTG natijalariga ko'ra, maksimal termik parchalanish harorati 360 °C dan 385 °C gacha oshgan, TGA natijalarida esa 600 °C dagi qoldiq massa 11,8 % dan 21,2 % gacha ortgan. Olingan natijalar 2KEA bilan funksionallashtirish natijasida selluloza nanokristallarining termik barqarorligi va fizik-kimyoviy xususiyatlari yaxshilanganini ko'rsatadi. Sintez qilingan material yuqori samarali adgezion kompozitsiyalar va funksional nanomateriallar yaratish uchun istiqbolli asos sifatida baholandi.

Kalit so'zlar: selluloza nanokristallari, 2-karboksietil akrilat, funksional akril monomer, kimyoviy modifikatsiyalash, fizik-kimyoviy xossalari, infraqizil spektroskopiya, SEM, TGA, DTG, termik barqarorlik, morfologiya, funksional guruhlar, kaliy persulfat, adgezion kompozitsiya.

Received: 28.07.2026

Accepted: 20.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ МЕЖДУ НАНОКРИСТАЛЛАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ АКРИЛОВЫМИ МОНОМЕРАМИ, А ТАКЖЕ ИЗУЧЕНИЕ ИХ ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

**Турсунбоев Алишер
Курбонмурод угли**

Ассистент-преподаватель
Каришинского государственного
технического университета,
Шахрисабз, Узбекистан

**Очилов Абдурахим
Абдурасулович**

Доктор технических наук,
доцент, заведующий кафедрой
Бухарского государственного
технического университета,
Бухара, Узбекистан

**Махмудов Рафик
Амонович**

Доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
Бухарского государственного
технического университета,
Бухара, Узбекистан

Аннотация. В работе исследована химическая реакция между нанокристаллами целлюлозы (НКЦ) и функциональным акрилатным мономером — 2-карбоксиэтил акрилатом (2КЭА), а также проведён комплексный анализ морфологических, структурных и термических свойств полученного продукта. Реакцию проводили при температуре 60–70 °С в присутствии инициатора — персульфата калия (KPS). Полученный продукт исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), инфракрасной спектроскопии (ИК), термогравиметрического (ТГА) и дифференциального термогравиметрического (ДТГ) анализа. По данным СЭМ после реакции наблюдалось изменение исходной стержнеобразной морфологии нанокристаллов целлюлозы, сопровождаемое повышением степени агрегации и формированием более плотной структуры. ИК-анализ выявил характерные полосы поглощения при 1732, 1545, 2922 и 2853 см⁻¹, подтверждающие взаимодействие фрагментов 2КЭА с нанокристаллами целлюлозы. Согласно данным ДТГ, максимальная температура термического разложения повысилась с 360 до 385 °С, а по данным ТГА остаточная масса при 600 °С увеличилась с 11,8 до 21,2 %. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении термической стабильности и физико-химических свойств модифицированного материала. Синтезированный продукт может рассматриваться как перспективная основа для создания функциональных наноматериалов и высокоэффективных адгезионных композиций.

Ключевые слова: нанокристаллы целлюлозы, 2-карбоксиэтил акрилат, функциональный акрилатный мономер, химическая модификация, физико-химические свойства, ИК-спектроскопия, СЭМ, ТГА, ДТГ, термическая стабильность, морфология, функциональные группы, персульфат калия, адгезионные композиции.

INVESTIGATION OF THE CHEMICAL REACTION BETWEEN CELLULOSE NANOCRYSTALS AND FUNCTIONAL ACRYLIC MONOMERS, AND STUDY OF THEIR PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

**Tursunboyev Alisher
Kurbonmurod ugli**

Assistant Lecturer, Karshi State
Technical University, Shahrisabz,
Uzbekistan

**Ochilov Abdurakhim
Abdurasulovich**

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Head of the
Department, Bukhara State
Technical University, Bukhara,
Uzbekistan

**Makhmudov Rafik
Amonovich**

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Department Professor,
Bukhara State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Abstract. This study investigates the chemical reaction between cellulose nanocrystals (CNCs) and the functional acrylate monomer 2-carboxyethyl acrylate (2-CEA), together with a comprehensive evaluation of the morphological, structural, and thermal properties of the resulting product. The reaction was carried out at 60–70 °C in the presence of potassium persulfate (KPS) as an initiator. The obtained product was characterized using scanning electron microscopy (SEM), infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), and differential thermogravimetric analysis (DTG). SEM analysis revealed a change in the initial rod-like morphology of the cellulose nanocrystals, accompanied by increased particle aggregation and the formation of a denser structure. FTIR analysis showed characteristic absorption bands at 1732, 1545, 2922, and 2853 cm⁻¹, confirming the interaction of 2-CEA fragments with the cellulose nanocrystals. According to the DTG results, the maximum thermal

decomposition temperature increased from 360 to 385 °C, while the TGA results showed an increase in residual mass at 600 °C from 11.8% to 21.2%. The results demonstrate improved thermal stability and physicochemical properties of the modified material. The synthesized product can be considered a promising basis for developing functional nanomaterials and high-performance adhesive composites.

Keywords: cellulose nanocrystals, 2-carboxyethyl acrylate, functional acrylate monomer, chemical modification, physicochemical properties, FTIR spectroscopy, SEM, TGA, DTG, thermal stability, morphology, functional groups, potassium persulfate, adhesive composites.

Kirish. Hozirgi vaqtda qayta tiklanuvchi biomassa resurslaridan yuqori qo‘shimcha qiymatga ega funksional nanomateriallar olish bo‘yicha tadqiqotlar jadal rivojlanmoqda [1, 2]. Lignosellyulozali xomashyodan olinadigan selluloza nanokristallari (SNK) yuqori kristallik darajasi, katta solishtirma sirt maydoni, past zichligi, biologik mosligi, biologik parchalanuvchanligi va mexanik mustahkamligi bilan ajralib turadi [3, 4]. Ushbu xususiyatlar SNKni polimer kompozitlar, biotibbiyot materiallari, qadoqlash materiallari, elektronika, katalizatorlar hamda funksional qoplamalar yaratishda istiqbolli nanoto‘ldiruvchi sifatida qo‘llash imkonini beradi [5, 6].

Sellyuloza nanokristallarining funksional xususiyatlarini kengaytirish maqsadida ularni turli xil monomerlar bilan kimyoviy modifikatsiyalash bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda [7, 8]. Ayniqsa, akrilat monomerlarining tarkibidagi vinil guruhlarining yuqori reaksiya faolligi hamda karboksil va efir guruhlarining mavjudligi SNK sirtida yangi funksional markazlarni shakllantirish imkonini beradi [9]. Bunday modifikatsiya nanokristallarning organik muhitdagi dispersiyalanish xususiyatlarini, polimer matritsalarini bilan o‘zaro ta‘sirini, shuningdek, ularning termik va mexanik ko‘rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qilishi mumkin.

Shu bilan birga, mavjud ilmiy tadqiqotlarda asosan tayyor kompozitsion materiallarning xossalari baholash yoki selluloza nanokristallarini alohida usullar yordamida funksionallashtirish masalalariga e‘tibor qaratilgan. SNK va funksional akril monomerlar o‘rtasida kechadigan kimyoviy jarayonni kompleks tahlil qilish, hosil bo‘lgan mahsulotning fizik-kimyoviy xususiyatlarini zamonaviy instrumental usullar asosida baholash hamda mazkur jarayonni keyingi funkcionallashtirish bosqichlari uchun ilmiy asos sifatida qo‘llash masalalari yetarlicha yoritilmagan.

Bundan tashqari, mahalliy xomashyo asosida olingan selluloza nanokristallari va funksional akril monomerlar ishtirokidagi bunday jarayonlarni tadqiq etish bo‘yicha ma‘lumotlar cheklangan.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, ushbu tadqiqotning maqsadi sintez qilingan selluloza nanokristallari va funksional akril monomer — 2-karboksietil akrilat o‘rtasidagi kimyoviy reaksiyani o‘rganish, hosil bo‘lgan mahsulotning fizik-kimyoviy xususiyatlarini aniqlash hamda undan adgezion materiallar va funksional nanomateriallar olish uchun ilmiy asoslarni shakllantirishdan iborat.

Materiallar va usullar.

Materiallar va kimyoviy reaktivlar. Tadqiqotda foydalanilgan selluloza nanokristallari (SNK) avvalgi tadqiqotlarda paxta linti asosida sulfat kislotali gidroliz usuli yordamida sintez qilingan. Funksional akril monomer sifatida 2-karboksietil akrilat (2-CEA, 98%), erkin radikal reaksiyasini boshlovchi inisiator sifatida kaliy persulfat (KPS) va yuvish jarayonida atseton (99,5%) ishlatildi. Mazkur kimyoviy moddalar ChemSrc (Xitoy) kompaniyasidan xarid qilingan. Tajribalar davomida laboratoriya sharoitida tayyorlangan distillangan suvdan foydalanildi. Barcha reaktivlar analitik tozalik darajasida bo‘lib, tajribadan oldin qo‘shimcha tozalashdan o‘tkazilmadi.

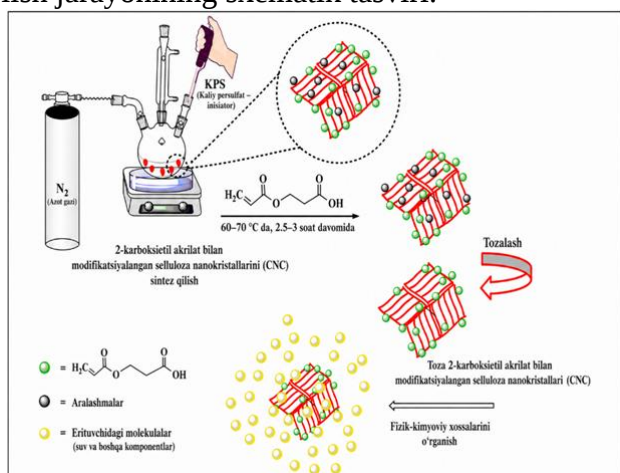
Sellyuloza nanokristallari va funksional akril monomer o‘rtasidagi kimyoviy reaksiya. Tajribaning dastlabki bosqichida 1,50 g selluloza nanokristallari 120 ml distillangan suvga solinib, azot atmosferasida 60°C haroratda magnit aralashtirgich yordamida 30–40 daqiqa davomida aralashtirildi. Natijada bir jinsli selluloza nanokristallari dispersiyasi hosil qilindi.

Keyingi bosqichda 0,5% kaliy persulfat (KPS) 50 ml distillangan suvda eritilib, hosil bo‘lgan eritma reaksiya muhitiga asta-sekin qo‘shildi. Aralashma qo‘shimcha ravishda 30–40 daqiqa davomida aralashtirildi. Shundan so‘ng 2,1 ml 2-

karboksietil akrilat reaksiya muhitiga tomchilatib kiritildi.

Reaksiya aralashmasi 60–70°C haroratda 2,5–3 soat davomida uzluksiz aralashtirildi. Ushbu sharoitda selluloza nanokristallari yuzasi va funksional akril monomer oʻrtasida kimyoviy oʻzaro taʼsir jarayoni olib borildi. Tajriba jarayonining umumiy texnologik ketma-ketligi 1-rasmda keltirilgan.

1-rasm. 2-karboksietil akrilat bilan funksionallashtirilgan selluloza nanokristallarini olish jarayonining sxematik tasviri.



1-rasm. 2-karboksietil akrilat bilan funksionallashtirilgan selluloza nanokristallarini sintez qilish, tozalash va fizik-kimyoviy xossalarini oʻrganish jarayonining sxematik tasviri.

Reaksiya mahsulotini ajratish va tozalash.

Reaksiya jarayoni yakunlangach, reaksiya aralashmasi xona haroratigacha sovitildi. Hosil boʻlgan mahsulot 80 ml atseton bilan qayta ishlanib, 4500–5000 ayl/min tezlikda 10–15 daqiqa davomida sentrifugalash orqali ajratildi.

Mahsulotni yuvish va sentrifugalash jarayonlari uch marta takrorlandi. Bunda reaksiya mahsulotida qolishi mumkin boʻlgan polimerlar va boshqa qoʻshimcha komponentlarni imkon qadar toʻliq ajratish koʻzda tutildi. Tozalangan mahsulot 40°C haroratda vakuumli quritgichda 24 soat davomida quritildi.

Quritilgan namuna keyingi fizik-kimyoviy tahlillarni amalga oshirishgacha eksikatorida saqlandi. Sellyuloza nanokristallari va 2-karboksietil akrilat oʻrtasidagi reaksiya jarayonining tenglamasi 2-rasmda keltirilgan.

Fizik-kimyoviy tahlil usullari. Kimyoviy reaksiya natijasida olingan namunalarning tarkibiy va fizik-kimyoviy xususiyatlarini aniqlash uchun bir nechta instrumental tahlil usullaridan foydalanildi. Namunalardagi funksional guruhlarining oʻzgarishi infraqizil spektroskopiya (IQ) usuli yordamida oʻrganildi. Kristall tuzilishida yuz bergan oʻzgarishlar rentgen difraksiyasi (XRD) usuli orqali baholandi. Zarrachalarning morfologiyasi va sirt tuzilishi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida tadqiq qilindi. Namunalarning termik barqarorligi va qizdirish jarayonidagi massa oʻzgarishlari esa termogravimetrik tahlil (TGA) usuli asosida aniqlandi.

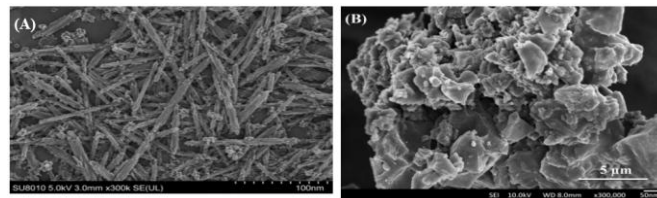
Natijalar va ularning muhokamasi.

Namunalarning morfologik xususiyatlari.

2-rasmda dastlabki selluloza nanokristallari (A) va ularning 2-karboksietil akrilat bilan kimyoviy reaksiyasi natijasida olingan mahsulot (B)ning SEM tasvirlari keltirilgan.

2(A)-rasm tahlili shuni koʻrsatadiki, dastlabki selluloza nanokristallari asosan ingichka tayoqchasimon morfologiyaga ega. Zarrachalar bir-biridan nisbatan yaxshi ajralgan boʻlib, alohida kristallitlar koʻrinishida namoyon boʻladi. Bunday morfologik tuzilma sellulozaning kislotali gidrolizi jarayonida amorf qismlarining parchalanishi, nisbatan tartibli kristall sohalarining esa saqlanib qolishi bilan izohlanadi.

Mazkur morfologiya selluloza nanokristallarining dastlabki holatdagi nisbatan yuqori tartiblangan tuzilishini koʻrsatadi. Keyingi 2(B)-rasm tasviri bilan taqqoslash orqali 2-karboksietil akrilat bilan kimyoviy reaksiyadan soʻng zarrachalar morfologiyasi va ularning oʻzaro joylashishida yuz bergan oʻzgarishlarni baholash mumkin.



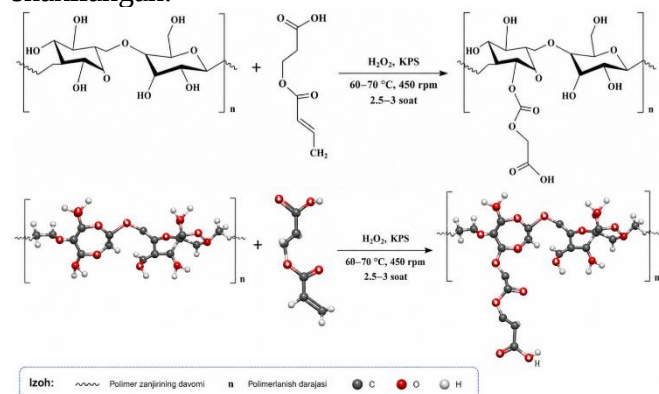
2-rasm. Sellyuloza nanokristallari (A) va 2-karboksietil akrilat bilan reaksiyaga kirishgan selluloza nanokristallarining (B) SEM tasvirlari.

Kimyoviy reaksiya natijasida olingan namunaning SEM tasviri (2(B)-rasm) dastlabki

sellyuloza nanokristallari (SNK) morfologiyasidan sezilarli darajada farq qilishi kuzatildi. Reaksiya mahsulotida alohida tayoqchasimon zarrachalar deyarli kuzatilmaydi. Aksincha, zarrachalarning o'zaro birikishi natijasida zich agregatlar va g'ovaksimon tuzilmalar shakllangan.

Zarrachalar sirtining notekisligi hamda morfologiyasida yuzaga kelgan dag'al o'zgarishlar 2-karboksietil akrilat fragmentlarining sellyuloza nanokristallari yuzasi bilan kimyoviy bog'lanishi natijasida sirt xususiyatlarining o'zgarganligini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, reaksiya jarayonida hosil bo'lgan yangi funksional guruhlar nanokristallar orasidagi molekulalararo o'zaro ta'sirlarni kuchaytirishi natijasida zarrachalarning agregatsiya darajasi ortganligi kuzatiladi. Natijada dastlabki SNK uchun xos bo'lgan nisbatan alohida va tayoqchasimon morfologiya o'rniga o'zaro birikkan, zichroq va g'ovaksimon struktura shakllangan.



3-rasm: Sellyuloza nanokristallari va 2-karboksietil akrilat o'rtasidagi kimyoviy reaksiya tenglamasi va mexanizmi.

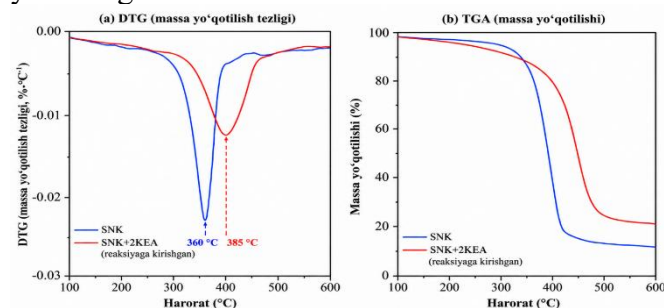
Sellyuloza nanokristallari (SNK) hamda 2-karboksietil akrilat bilan kimyoviy reaksiya natijasida olingan SNK-MA namunasining termik barqarorligi differensial termogravimetrik (DTG) va termogravimetrik (TGA) tahlil usullari yordamida baholandi (3-rasm).

DTG tahlili natijalari (4(a)-rasm) dastlabki SNK namunasida maksimal massa yo'qotilish tezligi 360°C haroratda kuzatilganini ko'rsatdi. Kimyoviy modifikatsiyadan so'ng olingan SNK-MA namunasida esa mazkur ko'rsatkich 385°C ga siljigan. Demak, kimyoviy reaksiya natijasida maksimal termik parchalanish harorati 25°C ga

oshgan.

DTG egri chizig'ining minimum qiymati dastlabki SNK namunasida taxminan $-0,023\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, SNK-MA namunasida esa $-0,012\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar taqqoslanganda, massa yo'qotilish tezligi qariyb 1,9 marta kamaygani aniqlandi. Bu holat SNK-MA namunasida termik parchalanish jarayoni nisbatan sekinlashganini hamda kimyoviy modifikatsiyadan keyin materialning issiqlik ta'siriga chidamliligi oshganini ko'rsatadi.

Umuman olganda, DTG tahlili natijalari 2-karboksietil akrilat bilan kimyoviy modifikatsiyalash SNKning termik barqarorligini yaxshilaganini ko'rsatadi.



4-rasm. Sellyuloza nanokristallari (SNK) hamda 2-karboksietil akrilat bilan kimyoviy reaksiya natijasida olingan mahsulotning termik parchalanish xususiyatlari:
(a) DTG va (b) TGA egri chiziqlari.

TGA tahlili natijalari (4(b)-rasm) ham kimyoviy reaksiya natijasida olingan mahsulotning termik barqarorligi oshganligini ko'rsatdi. Dastlabki SNK namunasida asosiy massa yo'qotilishi 330–420°C harorat oralig'ida sodir bo'lgan bo'lsa, SNK-2KEA namunasida ushbu jarayon 360–470 °C oralig'iga siljigan. Bu holat modifikatsiyalangan namunada termik parchalanish jarayoni dastlabki namunaga nisbatan taxminan 40–50 °C yuqoriroq haroratlarda kechganligini ko'rsatadi.

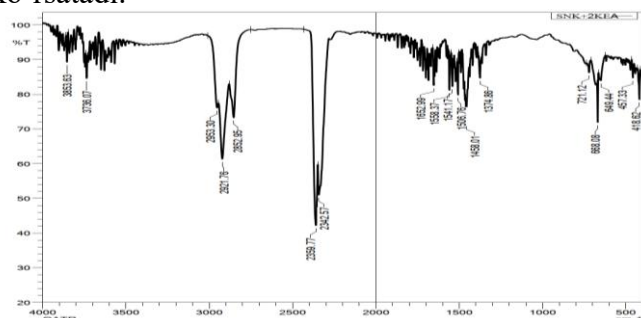
600°C haroratda dastlabki SNK namunasining qoldiq massasi 11,8% ni tashkil etgan bo'lsa, SNK-MA namunasida ushbu ko'rsatkich 21,2% ga yetgan. Natijada qoldiq massa miqdori 9,4 foiz punktga, ya'ni taxminan 1,8 baravar oshgan. Bu ko'rsatkich modifikatsiyalangan materialning yuqori harorat ta'sirida parchalanishga nisbatan barqarorligi ortganligini ko'rsatadi.

DTG va TGA natijalarini birgalikda tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, 2-karboksietil akrilatning

sellyuloza nanokristallari bilan kimyoviy o'zaro ta'siri natijasida materialning maksimal termik parchalanish harorati oshgan, massa yo'qotilish tezligi kamaygan va yuqori haroratlarda hosil bo'ladigan qoldiq massa miqdori sezilarli darajada ortgan. Mazkur o'zgarishlar reaksiya natijasida olingan materialning termik barqarorligi yaxshilanganligini tasdiqlaydi.

Infraqizil spektroskopik tahlil. Sellyuloza nanokristallari (SNK) va 2-karboksietil akrilat (2KEA) o'rtasidagi kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotning funksional guruhlarini aniqlash maqsadida infraqizil (IQ) spektroskopik tahlil o'tkazildi (5-rasm).

Olingan spektrda 3428 sm^{-1} sohada kuzatilgan keng yutilish cho'qqisi sellyuloza molekularidagi gidroksil ($-\text{OH}$) guruhlarining vodorod bog'lari bilan bog'liq valent tebranishlariga mos keladi. Ushbu yutilish zonasining saqlanib qolishi sellyuloza nanokristallarining asosiy tuzilishi kimyoviy reaksiyadan keyin ham saqlanganligini ko'rsatadi.



5-rasm. Sellyuloza nanokristallari (SNK) va 2-karboksietil akrilat (2KEA) o'rtasidagi kimyoviy reaksiya natijasida olingan mahsulotning infraqizil (IQ) spektri.

IQ spektrida 2922 sm^{-1} va 2853 sm^{-1} sohalarida kuzatilgan yutilish cho'qqilari alifatik $-\text{CH}_2$ va $-\text{CH}_3$ guruhlarining mos ravishda asimmetrik va simmetrik valent tebranishlariga tegishli. Mazkur yutilishlarning mavjudligi 2-karboksietil akrilat tarkibidagi uglevodorod fragmentlarining reaksiya mahsuloti tarkibiga kirganligini ko'rsatadi.

1732 sm^{-1} atrofida kuzatilgan kuchli yutilish cho'qqisi esa karbonil $\text{C}=\text{O}$ guruhining valent tebranishiga mos keladi. Ushbu yutilish 2-karboksietil akrilat fragmentlarining sellyuloza nanokristallari bilan kimyoviy o'zaro ta'sirini

ko'rsatuvchi muhim spektral belgilardan biri hisoblanadi.

Bundan tashqari, 1545 sm^{-1} dagi yutilish cho'qqisi karboksilat ($-\text{COO}^-$) guruhining asimmetrik valent tebranishiga mos keladi. 1454 sm^{-1} va 1375 sm^{-1} sohalaridagi cho'qqilar alifatik $-\text{CH}_2$ hamda sellyuloza skeletidagi $\text{C}-\text{H}$ guruhlarining deformatsion tebranishlari bilan bog'liq. 1160 sm^{-1} dagi intensiv yutilish murakkab efir bog'idagi $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ guruhining valent tebranishiga, 1030 sm^{-1} dagi cho'qqi esa sellyuloza skeletidagi $\text{C}-\text{O}$ va $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ bog'larining valent tebranishlariga mos keladi.

898 sm^{-1} da kuzatilgan yutilish sellyulozaga xos $\beta-(1\rightarrow4)$ -glikozid bog'ining $\text{C}-\text{H}$ deformatsion tebranishi bilan bog'liq. 721 sm^{-1} va 668 sm^{-1} atrofida yutilishlar uzun alifatik zanjirlardagi $-\text{CH}_2$ guruhlarining deformatsion tebranishlariga, 458 sm^{-1} dagi cho'qqi esa $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ bog'ining deformatsion tebranishlariga mos keladi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda sellyuloza nanokristallari (SNK) va funksional akril monomer — 2-karboksietil akrilat (2KEA) o'rtasidagi kimyoviy reaksiya amalga oshirildi hamda hosil bo'lgan mahsulotning fizik-kimyoviy xususiyatlari kompleks ravishda tadqiq etildi. Reaksiya sxemasi asosida 2-karboksietil akrilatning sellyuloza nanokristallari yuzasidagi faol markazlar bilan o'zaro ta'sirlashuvi natijasida yangi funksional tuzilma hosil bo'lishi aniqlandi.

SEM tahlili natijalari dastlabki sellyuloza nanokristallariga xos tayoqchasimon morfologiyaning kimyoviy reaksiyadan so'ng sezilarli darajada o'zgarganligini ko'rsatdi. Reaksiya mahsulotida zarrachalarning o'zaro birikishi va agregatsiya darajasining ortishi natijasida zichroq hamda g'ovaksimon mikrostrukturaviy tuzilma shakllangan.

IQ-spektroskopik tahlil natijalari reaksiya mahsulotida 2-karboksietil akrilat bilan bog'liq funksional guruhlarining mavjudligini ko'rsatdi. Xususan, 1732 sm^{-1} sohasidagi karbonil guruhiga tegishli yutilish, shuningdek, boshqa xarakterli yutilish cho'qqilari modifikatsiyalangan materialning funksional tarkibiy xususiyatlarini tasdiqladi.

TGA va DTG tahlillari esa kimyoviy modifikatsiyadan keyin materialning termik barqarorligi yaxshilanganligini ko'rsatdi. Maksimal

termik parchalanish haroratining 360°C dan 385°C gacha, ya'ni 25°C ga oshishi, massa yo'qotilish tezligining taxminan 1,9 marta kamayishi hamda 600°C dagi qoldiq massaning 11,8% dan 21,2% gacha ortishi ushbu xulosani tasdiqlaydi.

Umuman olganda, olingan natijalar selluloza nanokristallari va 2-karboksietil akrilat o'rtasidagi kimyoviy o'zaro ta'sir natijasida morfologik,

funksional va termik xususiyatlari o'zgargan yangi material hosil bo'lganligini ko'rsatadi. Mazkur mahsulot keyingi bosqichlarda silanli birikmalar yordamida modifikatsiyalash hamda yuqori samarali adgezion kompozitsiyalar olish uchun istiqbolli funksional nanomaterial sifatida foydalanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ali, A., Aziz, T., Zheng, J., Hong, F., Awad, M. F., Manan, S., Haq, F., Ullah, A., Shah, M. N., Javed, Q., Kubar, A. A., & Guo, L. (2022). Modification of cellulose nanocrystals with 2-carboxyethyl acrylate in the presence of epoxy resin for enhancing its adhesive properties. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 797672. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.797672>
- [2] Habibi, Y., Lucia, L. A., & Rojas, O. J. (2010). Cellulose nanocrystals: Chemistry, self-assembly, and applications. *Chemical Reviews*, 110(6), 3479–3500. <https://doi.org/10.1021/cr900339w>
- [3] Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: Structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 40(7), 3941–3994. <https://doi.org/10.1039/C0CS00108B>
- [4] Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. (2011). Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(24), 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
- [5] Trache, D., Hussin, M. H., Haafiz, M. K. M., & Thakur, V. K. (2017). Recent progress in cellulose nanocrystals: Sources and production. *Nanoscale*, 9(5), 1763–1786. <https://doi.org/10.1039/C6NR09494E>
- [6] Wang, N., Ding, E., & Cheng, R. (2007). Surface modification of cellulose nanocrystals. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 1(3), 228–232. <https://doi.org/10.1007/s11705-007-0041-5>
- [7] Khoshkholgh, M. J., et al. (2020). Acrylic functionalization of cellulose nanocrystals with 2-isocyanatoethyl methacrylate and formation of composites with poly(methyl methacrylate). *ACS Omega*, 5(48), 31092–31100. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04246>
- [8] Lim, D., Baek, M.-J., Kim, H.-S., Baig, C., & Lee, D. W. (2022). Carboxyethyl acrylate incorporated optically clear adhesives with outstanding adhesion strength and immediate strain recoverability for stretchable electronics. *Chemical Engineering Journal*, 437, 135390. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135390>
- [9] Plasma surface-modification of cellulose nanocrystals: A green alternative towards mechanical reinforcement of ABS. (2019). *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/C9RA02451D>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Tursunboyev, A. Q., Ochilov, A. A., & Maxmudov, R. A. (2026). Sellyuloza nanokristallari va funksional akril monomerlari o'rtasidagi kimyoviy reaksiyani tadqiq etish hamda ularning fizik-kimyoviy xossalarini o'rganish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.41>
