УДК 677.077.65
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_248

ФОРМИРОВАНИЕ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ Ag / ХИТОЗАН ДЛЯ АНТИМИКРОБНОЙ ОТДЕЛКИ ТКАНЕЙ *

FORMATION OF TWO-COMPONENT NANO-SIZED Ag/CHITOSAN COATINGS FOR ANTIMICROBIAL FINISHING OF FABRICS

В.Ю. ПЕТРУШИНА, А.В. ТРЕГУБОВ, К.А. ЕРЗУНОВ, О.И. ОДИНЦОВА

V.Yu. PETRUSHINA, A.V. TREGUBOV, K.A. ERZUNOV, O.I. ODINTSOVA

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

(Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: erzunovk@mail.ru

В статье рассматривается технология формирования двухкомпонентных полимерных покрытий на текстильных материалах с целью придания им антибактериальных свойств. Предложенный подход предполагает использование хитозана в сочетании с наночастицами серебра для повышения степени фиксации наноразмерного модификатора на волокнистом материале. Оптимизированы температурно-временные параметры обработки тканей в полученных пропиточных композициях на основе хитозана. Изучена устойчивость функциональных покрытий к мокрым обработкам. Разработанные покрытия проявляют повышенную устойчивость по отношению к поту и стирке. Для увеличения степени иммобилизации наночастиц на волокне и сохранения тканью его качественных характеристик предложена дополнительная обработка модифицированных образцов в пропиточных ваннах, содержащих альгинат натрия и другие текстильно-вспомогательные вещества. Разработана технология отделки текстильных материалов композицией, включающая пропитку материала, сушку при 80…100 °С, промывку, термофиксацию. Обработанные по предлагаемой технологии текстильные материалы проявляют антибактериальную активность по отношению к грамположительным и грамотрицательным группам бактерий. Максимальная зона задержки роста бактерий наблюдается по отношению к Staphylococcus saprophyticus и составляет 10 мм. Антимикробные ткани могут быть использованы для пошива защитных медицинских изделий: медицинских масок, халатов, салфеток, защитных костюмов и других средств.

The article considers the technology of forming two-component polymer coatings on textile materials in order to impart antibacterial properties to them. The proposed approach involves the use of chitosan in combination with silver nanoparticles to increase the degree of fixation of the nanoscale modifier on the fibrous material. The temperature and time parameters of fabric treatment in the obtained impregnating compositions based on chitosan have been optimized. The resistance of functional coatings to wet treatments has been studied. The developed coatings exhibit increased resistance to sweat and washing. To increase the degree of immobilization

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер проекта FZZW-2023-0008).

of nanoparticles on the fiber and to preserve the fabric's quality characteristics, additional treatment of modified samples in impregnating baths containing sodium alginate and other textile auxiliary substances has been proposed. A technology for finishing textile materials with a composition has been developed, including impregnation of the material, drying at 80…100 ℃, washing and heat fixation.Textile materials processed using the proposed technology exhibit antibacterial activity against gram-positive and gram-negative groups of bacteria. The maximum zone of bacterial growth inhibition is observed against Staphylococcus saprophyticus and is 10 mm. Antimicrobial fabrics can be used for sewing protective medical products: medical masks, gowns, napkins, protective suits and other means.

Ключевые слова: антибактериальная отделка, функциональные ткани, наночастицы серебра, хитозан, бикомпонентные покрытия.

Keywords: antibacterial finish, functional fabrics, silver nanoparticles, chitosan, bicomponent coatings.

Введение

Неконтролируемое применение антибиотиков приводит к развитию штаммов бактерий с лекарственной резистентностью, что значительно снижает эффективность современных антимикробных препаратов [1]. В связи с этим появилась острая необходимость в поиске альтернативных и более эффективных антибактериальных средств, а также подходов к преодолению проблемы резистентности микроорганизмов [2…4]. С этой целью могут использоваться различные наночастицы металлов и их оксидов. К основным преимуществам таких наночастиц относят их высокую эффективность против широкого спектра микробов и паразитов [5…7].

Особый интерес представляют наночастицы серебра (AgНЧ), поскольку они обладают превосходной антимикробной активностью, ограниченной антипатогенной активностью, а также эффективностью против микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью [8, 9]. Точный механизм антибактериального действия наночастиц Ag на бактериальные клетки не выяснен, однако предложено несколько концепций для его объяснения. Согласно общепринятой теории AgНЧ высвобождают ионы серебра, которые могут воздействовать на клеточную стенку бактерий и изменять ее проницаемость и межмембранный обмен [6]. Кроме того, AgНЧ способствуют нарушению работы клетки изнутри, взаимодействуя с фосфором и серой различных белков, а также остатками фосфорной кислоты молекулы ДНК.

Широкому применению наночастиц серебра в медицине препятствуют низкая стабильность чистых наночастиц и высокий уровень цитотоксичности [3]. В связи с этим проводятся исследования, посвященные поиску новых подходов к снижению токсичности наночастиц серебра. Отмечается, что полимеры, функциональные группы которых способны взаимодействовать с ионами металлов, могут обеспечивать лучшую стабилизацию образующихся коллоидов AgНЧ [10]. Использование наночастиц серебра в антибактериальной отделке текстильных материалов вызвано потребностью в создании современных изделий, способных обеспечить всестороннюю защиту человека от действия вредоносных бактерий.

Покрытия на основе наночастиц серебра требуют высокой степени фиксации для достижения устойчивого длительного антимикробного эффекта текстильного изделия. Кроме того, иммобилизованные на ткани частицы не должны снижать качественные характеристики текстильных материалов: прочность, мягкость и другие. Для этого в отделочные композиции следует вводить различные текстильно-вспомогательные вещества [11].

Настоящая работа посвящена созданию технологии формирования стабильных

устойчивых покрытий наночастиц серебра на текстильном материале с использованием полимерных компонентов, таких как хитозан и альгинат натрия.

Экспериментальная часть

В качестве волокнистой основы для нанопокрытия использована очищенная и отбеленная ткань из 100% хлопка с поверхностной плотностью 89 г/м^2.

Наночастицы серебра получены при взаимодействии нитрата серебра ($AgNO_3$, $1 \cdot 10^{-4}$ г/л) с глиоксалем. Средний размер частиц серебра в гидрозоле составил 4 нм. Полученный серебросодержащий антибактериальный препарат Silver-5 также в своем составе содержит катионы серебра.

Раствор хитозана (3%) приготовлен путем перемешивания навески хитозана в 0,5% уксусной кислоте.

Нанесение наночастиц на волокнистый материал осуществлено методом пропитки с последующим отжимом (100%), промывкой и термофиксацией при варьировании температуры и времени процесса.

Определение устойчивости нанесенных покрытий к мокрым обработкам проведено в соответствии с ГОСТ Р 57877-2017. Изменение светлоты и колористический эффект тканей с нанесенными наночастицами серебра оценены при помощи спектрофотометра YS 3010.

Антимикробная активность модифицированных текстильных материалов изучена методом дисков (ГОСТ ISO 20645-2014) по отношению к грамположительным и грамотрицательным группам бактерий.

Результаты и обсуждение

К традиционным методам нанесения функциональных аппретов на текстильные материалы относится метод пропитки полотна в растворе модификатора. Метод пропитки является универсальным и не требующим сложной аппаратуры, однако имеет ограничения для применения препаратов на основе наноразмерных частиц, поскольку при его использовании сложно контролировать количество нанесенных частиц. Удерживаемые на волокне силами физического или электростатического взаимодействия, наноразмерные частицы могут удаляться с поверхности текстильного материала в процессе эксплуатации. В этой связи необходимо добиться высокой степени фиксации частиц на волокне, а также более равномерного их распределения на поверхности текстильного материала. С этой целью в пропиточную композицию был введен полимер хитозан. Благодаря наличию амино- и гидроксильных групп макромолекулы хитозана могут стабилизировать наночастицы серебра [12]. Стабилизация системы происходит за счет связывания функциональных групп хитозана с частично положительно заряженными наночастицами металла Ag через образование хелатных комплексов (рис. 1) [13, 14].

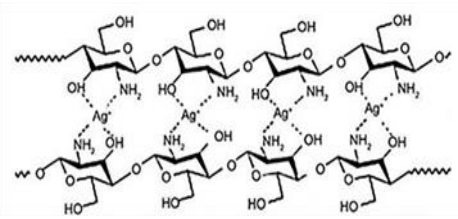


Рис. 1

Помимо хелатирующих свойств хитозан обладает антибактериальными свойствами. Антибактериальное действие хитозана включает внеклеточные и внутриклеточные эффекты в зависимости от его молекулярной массы. Внутриклеточная активность высокомолекулярного хитозана связана с его способностью взаимодействовать с отрицательно заряженной поверхностью бактерий, что вызывает изменение проницаемости клеточной мембраны и впоследствии ее разрушение [15]. Хитозан с низкой молекулярной массой обладает внутриклеточной антимикробной активностью, влияя на РНК, синтез белка и функцию митохондрий [16].

Наночастицы Ag и хитозан являются антибактериальными агентами, поэтому композиция на их основе будет обладать более выраженным антибактериальным эффектом, что подтверждается научными исследованиями в этой области [17].

Функциональная пропиточная композиция получена путем смешения серебросодержащего антибактериального препарата с раствором хитозана при интенсивном перемешивании (25 °С). Пропитка образцов

отбеленной хлопчатобумажной ткани в полученной композиции осуществлялась в стандартных условиях. Наличие аминогрупп в молекуле хитозана будет способствовать его связыванию с поверхностью целлюлозного волокна.

В ряде исследований рекомендуют при получении покрытий с включением наночастиц серебра на целлюлозных текстильных материалах проводить стадию высокотемпературной фиксации [18]. Для определения оптимальных температурно-временных параметров проведения процесса регулировали время и температуру термофиксации сформированных покрытий. Температурная обработка текстильных образцов проведена при 140 ºС, 150 ºС, 160 ºС. Время термофиксации составляло от 1 до 4 минут.

К числу значимых свойств наночастиц серебра относятся их оптические свойства. Эти свойства обусловлены локализованным поверхностным плазмонным резонансом серебряных наночастиц. Явление плазмонного резонанса возникает в результате взаимодействия света и металлических наночастиц, когда электроны проводимости колеблются вокруг наночастиц с определенной частотой [19, 20]. Это объясняет различные цвета и оттенки наночастиц. Окраска зависит от множества параметров: формы частицы, размера, состава, окружающей среды. Поэтому при формировании покрытий с включением наночастиц серебра на текстильном материале необходимо проводить оценку колористических показателей тканей. Считается, что наиболее темная окраска обработанных текстильных материалов свидетельствует о высокой степени иммобилизации частиц на волокнистой поверхности [18].

Светлоту текстильных образцов определяли при помощи спектрофотометра YS 3010. Полученные данные отражены в виде графика зависимости светлоты образца от времени тепловой обработки (рис. 2). Сравнение проведено по отношению к образцу с нанесенным наноразмерным покрытием, которое не подвергалось температурной обработке.

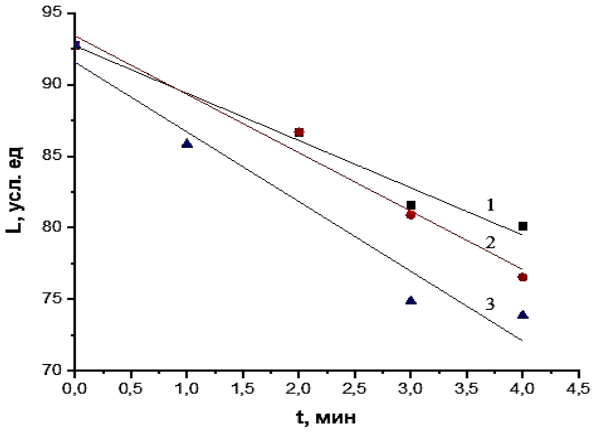
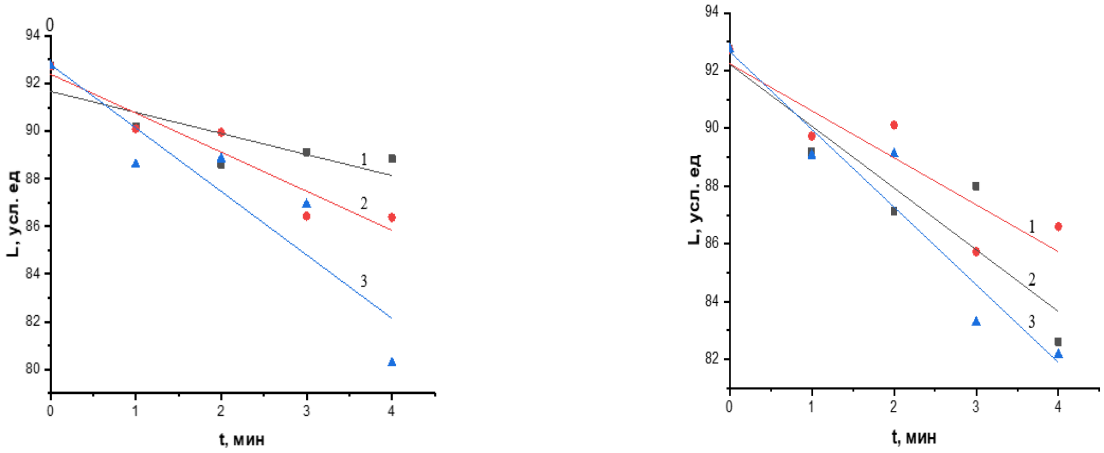


Рис. 2

Предположительно воздействие высокой температуры на образцы текстильных материалов с нанесенным композитом серебро / хитозан может привести к протеканию нескольких параллельных процессов: перекристаллизации наночастиц серебра, встроенных в полимерную матрицу, изменению их формы, а также восстановлению содержащихся в отделочном препарате Silver-5 катионов серебра.

При температуре 140 °С изменение светлоты образцов является незначительным. Повышение температуры обработки материала не приводит к увеличению рассматриваемого показателя. Наиболее насыщенная темная окраска текстильного материала наблюдается при термообработке образцов при температуре 150 °С, 160 °С в течение 3, 4 минут.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к функциональным текстильным материалам, является устойчивость достигнутого эффекта к мокрым обработкам. Считается, что нанесение на ткань покрытия хитозана толщиной субмикрон или несколько нанометров не оказывает существенного влияния на гибкость материала, его воздухо- и паропроницаемость, а также на удобство в использовании готового изделия [21]. К стандартным испытаниям устойчивости отделок относят испытания обработанных текстильных материалов к стирке №1 и поту (рис. 3).



а) б)

Рис. 3

Среди изученных образцов наибольшую устойчивость к мокрым обработкам проявили покрытия, подвергнутые термофиксации при температуре 150 °С в течение 3, 4 минут.

Длительная высокотемпературная обработка модифицированных хлопчатобумажных тканей может негативно влиять на товарный вид готового изделия. Необходимо подобрать оптимальное время термофиксации обработанных текстильных материалов, при котором не происходит значительного изменения качественных характеристик модифицированных серебросодержащим препаратом тканей (рис. 4).

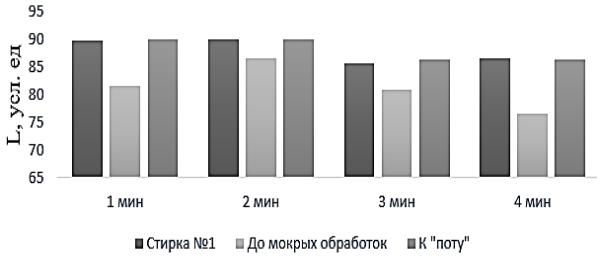


Рис. 4

Минимальное значение светлоты образцов наблюдается при температурном воздействии в течение трех минут. Дальнейшее повышение времени температурной обработки не приводит к понижению светлоты модифицированных тканей. Таким образом, наиболее оптимальными условиями для термофиксации являются $T_ф$ = =150 °С, $\tau_ф$ = 3 минуты.

Для увеличения степени иммобилизации наночастиц на текстильные материалы в соответствии с предыдущими данными опробована методика закрепления наночастиц серебра с использованием природных полимеров методом двойной пропитки (Layer by layer, Lbl). Данная технология разработана для изготовления тонких композитных пленок на твердых поверхностях и включает попеременное нанесение заряженных катионных и анионных полиэлектролитов для создания наноразмерных слоев на поверхности материала [22]. Схема пропитки по технологии Lbl приведена на рис. 5.

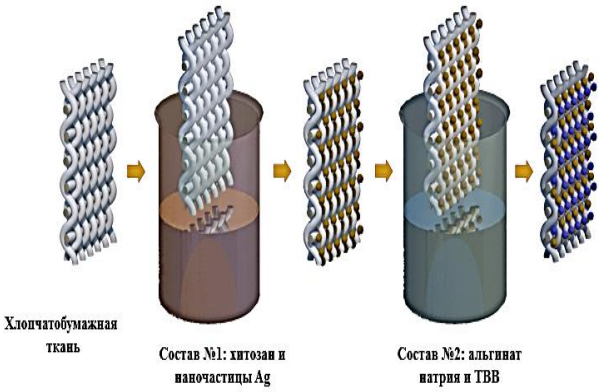


Рис. 5

Поскольку макромолекулы целлюлозы в растворе приобретают отрицательный заряд, наночастицы серебра и высвобождающиеся ионы серебра легко удерживаются на поверхности волокна. Нанесение анион-

ного полиэлектролита дополнительно фиксирует модификатор на ткани. Предложенный подход предполагает закрепление наночастиц на поверхности текстильного материала за счет электростатического притяжения, а также путем встраивания частиц в полимерную пленку альгината натрия.

Технология обработки хлопчатобумажных текстильных материалов включала пропитку функциональным составом (хитозан / AgНЧ), отжим, термофиксацию, закрепление покрытия пропиткой в растворе альгината натрия (0,5%) с добавлением текстильно-вспомогательных веществ (мочевины и Тексоклен МГФ) и последующую сушку. С целью удаления с волокнистого материала части незафиксированного наносеребра для ряда образцов проведена промывка перед обработкой в растворе альгината натрия.

Таблица 1

№ обр.	Состав пропиточных композиций и технология обработки	Балл устойчивости к стирке №1	Балл устойчивости к поту
1	Пропитка составами: 1) хитозан (30 г/л), Ag№15(10^{-4} г/л); 2) альгинат Na (5 г/л), промывка образцов термофиксация 150 °С, 3 минуты	5/5	4/4
2	Пропитка составами: 1) хитозан (30 г/л), Ag№15(10^{-4} г/л); 2) альгинат Na (5 г/л), мочевина (5 г/л), термофиксация 150 °С, 3 минуты	3/4	3/4
3	Пропитка составами: 1) хитозан (30 г/л), Ag№15(10^{-4} г/л); 2) альгинат Na (5 г/л), мочевина (5 г/л), Тексоклен МГФ (7,5 г/л), термофиксация 150 °С, 3 минуты	4/4	3/4
4	Пропитка составами: 1) хитозан (30 г/л), Ag№15(10^{-4} г/л); 2) альгинат Na (5 г/л), мочевина (5 г/л), Тексоклен МГФ (7,5 г/л) промывка образцов термофиксация 150 °С, 3 минуты	5/5	4/4

Установлено, что обработанные по предложенной технологии образцы характеризуются высокой устойчивостью к мокрым обработкам (табл. 1). При этом высокий результат достигается для образцов №1 и №4, технологическая схема которых включала стадию промывки материала.

Антимикробная активность сформированных покрытий определена методом дисков по отношению к грамположительным *(Staphylococcus saprophyticus)* и грамотрицательным группам бактерий *(Citrobacter freundii)* (табл. 2).

Показано, что покрытия с наночастицами серебра проявляют антимикробную активность по отношению ко всем типам культур. Это может быть связано с мигрирующей способностью ионов серебра на поверхности материала. По отношению к грамположительным бактериям (*Staphylococcus saprophyticus)* наблюдается более выраженный антимикробный эффект, чем к грамотрицательным (*Citrobacter freundii).* Максимальная зона лизиса составила 10 мм.

Проведено сравнение влияния добавок мочевины и Тексоклена МГФ на технические результаты антибактериальной отделки целлюлозных тканей. Введение данных ТВВ в состав композиции не влияет на антибактериальную активность обработанных образцов. Для образцов, технология обработки которых включала промежуточную промывку, не наблюдается снижение проявления антибактериальных свойств по отношению ко всем изученным группам бактерий.

Таблица 2

Изображения чашек Петри с образцами тканей / тестовые культуры бактерий	Характеристика образцов	Зона задержки роста бактерий, мм
Citrobacterfreundii 	0 – ХБ необработанный образец	0
	2 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na с промывкой образцов	3
	3 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na; мочевина	3
	5 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na; мочевина; Тексоклен МГФ	3
	6 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na; мочевина; Тексоклен МГФ с промывкой образцов	3
Staphylococcussaprophyticus 	0 – ХБ необработанный образец	0
	2 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na с промывкой образцов	7
	3 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na; мочевина	10
	5 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na; мочевина; Тексоклен МГФ	9
	6 – хитозан и AgНЧ (10^{-4} г/л); альгинат Na; мочевина; Тексоклен МГФ с промывкой образцов	6

Согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ ISO 20645-2014 для текстильных изделий хорошим эффектом при испытании антибактериальной активности считается отсутствие роста микроорганизмов под образцом с зоной задержки роста 0…1 мм и более 1 мм.

Таблица 3

Антимикробный препарат	Используемые тест-культуры	Зона задержки роста, мм
Препарат Sanitized12 г/л	Staphylococcus aureus	5
	Candida albicans	3
Препарат Sanitized10 г/л	Staphylococcus aureus	5
	Candida albicans	2

Для оценки достигнутого антимикробного эффекта провели сравнение результатов испытания с антибактериальным действием зарекомендовавших зарубежных серебросодержащих препаратов торговой марки Sanitized (табл. 3).

Показано, что по сравнению с препаратами марки Sanitized обработанные по предложенной технологии образцы проявляют более выраженное антимикробное действие по отношению к грамположительным группам бактерий.

ВЫВОДЫ

Разработана технология иммобилизации наночастиц серебра на текстильный материал методом пропитки с использованием хитозана. Оптимизированы температурно-временные параметры проведения процесса антибактериальной отделки. Ис-

следована устойчивость полученных покрытий к мокрым обработкам. Предложена технология закрепления наночастиц серебра методом Lbl путем формирования на волокне дополнительного покрытия на основе альгината натрия. Модифицированные образцы хлопчатобумажной ткани характеризуются высокими антибактериальными свойствами.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Terreni M., Taccani M., Pregnolato M.* New antibiotics for multidrug-resistant bacterial strains: latest research developments and future perspectives // Molecules. 2021, V. 26. №. 9. C. 2671.

2. *Asare E.O., Mun E.A., Marsili E., Paunov V.N.* Nanotechnologies for control of pathogenic microbial biofilms // Journal of Materials Chemistry B. 2022, V. 10. P. 5129…5153.

3. *Zhu L.-M., Yu D.G.* Biotextiles as Medical Implants // Woodhead Publishing Series in Textiles. 2013, P. 213...231.

4. *Амджад М.В.* Дендримеры в таргетной доставке противоопухолевых препаратов: достижения, проблемы и перспективы дальнейших исследований // Фармация и фармакология. 2021. Т. 9. № 1. С. 4…16.

5. *Петрова Л.С., Липина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.И.* Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6. С. 105…109.

6. *Becenen N., Altun Ö.* Applications of TiO_2, ZnO and Ag nanomaterials to denim fabric // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2016, V. 16. N 5. P. 5359…5363.

7. *Khan M.Z., Baheti1 V., Ashraf M. etc.* Development of UV Protective, Superhydrophobic and Antibacterial Textiles Using ZnO and TiO_2 Nanoparticles // Fibers and Polymers. 2018, V. 19. No. 8. P. 1647…1654.

8. *Arif D., Niazi M.B.K., Ul-Haq N. etc.* Preparation of antibacterial cotton fabric using chitosan-silver nanoparticles // Fibers and Polymers. 2015, V. 16. No. 7. P. 1519…1526.

9. *Ерзунов К.А., Липина А.А., Одинцова О.И. и др.* Формирование антибактериальных покрытий на текстильных материалах методом печати // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 150…155.

10. *Arif U., Haider S., Haider A. etc.* Biocompatible Polymers and their Potential Biomedical Applications: A Review // Current Pharmaceutical Design. 2019, V. 25. P. 3608…3619.

11. *Одинцова О.И., Румянцев Е.В., Смирнова А.С. и др.* Микрокапсулирование биологически активных веществ с использованием биосовместимых полиэлектролитов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 1 (391). С. 60…65.

12. *Kim Y., Zharkinbekov Z., Raziyeva K. etc.* Chitosan-Based Biomaterials for Tissue Regeneration // Pharmaceutics. 2023, V. 15. N 3. P. 807.

13. *Humbatova S.F., Zeynalov N.A., Taghiyev D.B. etc.* Chitosan polymer composite material containing of silver nanoparticle // Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 2016. V. 11. № 1. P. 39…44.

14. *Xie Y., Liao X., Zhang J.* Novel chitosan hydrogels reinforced by silver nanoparticles with ultrahigh mechanical and high antibacterial properties for accelerating wound healing // Int J Biol Macromol. 2018. № 119. P. 402…412.

15. *Arrouze F., Essahli M., Rhazi M. etc.* Chitin and chitosan: Study of the possibilities of their production by valorization of the waste of crustaceans and cephalopods rejected in Essaouira // Journal of Materials and Environmental Sciences. 2017. V. 8. P. 2251…2258.

16. *Ke C.-L., Deng F.-S., Chuang C.-Y., Lin C.-H.* Antimicrobial Actions and Applications of Chitosan // Polymers. 2021, V. 13. P. 904.

17. *Ali S.W., Rajendran S., Joshi M.* Synthesis and characterization of chitosan and silver loaded chitosan nanoparticles for bioactive polyester // Carbohydrate Polymers. 2011, V. 83. № 2. P. 438...446.

18. *Vesna I., Zoran Š., Vesna V. etc.* The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles // Carbohydrate Polymers. 2009. V. 78. № 3. P. 564…569.

19. *Tang B., Zhang M., Hou X. etc.* Coloration of cotton fibers with anisotropic silver nanoparticles // Industrial & engineering chemistry research. 2012. № 51(39). P. 12807…12813.

20. *Jiang X.C., Chen W.M., Chen C.Y. etc.* Role of temperature in the growth of silver nanoparticles through a synergetic reduction approach // Nanoscale Res Lett. 2011, V. 6. No. 32. P. 1…9.

21. *Hahn T., Bossog L., Hager T. etc.* Chitosan application in textile processing and fabric coating // Chitin and Chitosan: Properties and Applications. 2019. P. 395…428.

22. *Одинцова О.И., Прохорова А.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л.* Использование метода микроэмульсионного капсулирования для придания текстильным материалам акарицидных свойств // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 332…336.

R E F E R E N C E S

1. *Terreni M., Taccani M., Pregnolato M.* New antibiotics for multidrug-resistant bacterial strains: latest research developments and future perspectives // Molecules. 2021, V. 26. No. 9. C. 2671.

2. *Asare E.O., Mun E.A., Marsili E., Paunov V.N.* Nanotechnologies for control of pathogenic microbial biofilms // Journal of Materials Chemistry B. 2022, V. 10. P. 5129…5153.

3. *Zhu L.-M., Yu D.G.* Biotextiles as Medical Implants // Woodhead Publishing Series in Textiles. 2013, P. 213…231.

4. *Amjad M.V.* Dendrimers in targeted delivery of antitumor drugs: achievements, problems and prospects for further research // Pharmacy and Pharmacology. 2021, V. 9. No. 1. P. 4…16.

5. *Petrova L.S., Lipina A.A., Zaitseva A.O., Odintsova O.I.* The using of silver nanoparticles to provide bactericid properties to textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 6 (378). P. 105…109.

6. *Becenen N., Altun Ö.* Applications of TiO_2, ZnO and Ag nano materials to denim fabric // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2016, V. 16. N 5. P. 5359…5363.

7. *Khan M.Z., Baheti1 V., Ashraf M. etc.* Development of UV Protective, Superhydrophobic and Antibacterial Textiles Using ZnO and TiO_2 Nanoparticles // Fibers and Polymers. 2018, V. 19. No. 8. P. 1647…1654.

8. *Arif D., Niazi M.B.K., Ul-Haq N. etc.* Preparation of antibacterial cotton fabric using chitosan-silver nanoparticles // Fibers and Polymers. 2015, V. 16. No. 7. P. 1519…1526.

9. *Erzunov K.A., Lipina A.A., Odintsova O.I. etc.* Formation of antibacterial coatings on textile materials by the printing method // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3 (405). P. 150…155.

10. *Arif U., Haider S., Haider A. etc.* Biocompatible Polymers and their Potential Biomedical Applications: A Review // Current Pharmaceutical Design. 2019, V. 25. P. 3608…3619.

11. *Odintsova O.I., Rumyantsev E.V., Smirnova A.S. etc.* Microencapsulation of biologically active substances using biocompatible polyelectrolytes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 1 (391). P. 60…65.

12. *Kim Y., Zharkinbekov Z., Raziyeva K. etc.* Chitosan-Based Biomaterials for Tissue Regeneration // Pharmaceutics. 2023, V. 15. No. 3. P. 807.

13. *Humbatova S.F., Zeynalov N.A., Taghiyev D.B. etc.* Chitosan polymer composite material containing of silver nanoparticle // Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 2016, V. 11. No. 1. P. 39…44.

14. *Xie Y., Liao X., Zhang J.* Novel chitosan hydrogels reinforced by silver nanoparticles with ultrahigh mechanical and high antibacterial properties for accelerating wound healing // Int J BiolMacromol. 2018, No. 119. P. 402…412.

15. *Arrouze F., Essahli M., Rhazi M. etc.* Chitin and chitosan: Study of the possibilities of their production by valorization of the waste of crustaceans and cephalopods rejected in Essaouira // Journal of Materials and Environmental Sciences. 2017, V. 8. P. 2251…2258.

16. *Ke C.-L., Deng F.-S., Chuang C.-Y., Lin, C.-H.* Antimicrobial Actions and Applications of Chitosan // Polymers. 2021, V. 13. P. 904.

17. *Ali S. W., Rajendran S., Joshi M.* Synthesis and characterization of chitosan and silver loaded chitosan nanoparticles for bioactive polyester // Carbohydrate Polymers. 2011, V. 83. No. 2. P. 438…446.

18. *Vesna I., Zoran Š., Vesna V. etc.* The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles // Carbohydrate Polymers. 2009. V. 78. No. 3. P. 564…569.

19. *Tang B., Zhang M., Hou X. etc.* Coloration of cotton fibers with anisotropic silver nanoparticles // Industrial & engineering chemistry research. 2012. No. 51(39). P. 12807…12813.

20. *Jiang X.C., Chen W.M., Chen C.Y. etc.* Role of temperature in the growth of silver nanoparticles through a synergetic reduction approach // Nanoscale Res Lett. 2011, V. 6. No. 32. P. 1…9.

21. *Hahn T., Bossog L., Hager T. etc.* Chitosan application in textile processing and fabric coating // Chitin and Chitosan: Properties and Applications. 2019. P. 395…428.

22. *Odintsova O.I., Prokhorova A.A., Petrova L.S., Vladimirtseva E.L.* Use of the method of microemulsion capsulation for giving to textile materials acaricide properties // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017, No. 1. P. 332…336.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 11.03.25.