

MPHTI 61.71.99

Г.Ж. Джаманбаева¹ – основной автор, ©
Б.Р. Таусарова², Б.Н. Суримбаев³, Б. Абзалбекұлы⁴



¹Докторант, ²Д-р хим. наук, профессор, ³PhD, ⁴PhD, ассоц. профессор

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-4993-5697> ²<https://orcid.org/0000-0002-2718-2102>

³<https://orcid.org/0000-0002-3988-8444> ⁴<https://orcid.org/0000-0002-9552-0388>



^{1,2}Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

³Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан

⁴Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан



⁴bekontiru@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/ANVI5310>

ПРИДАНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Аннотация. Проведены испытания устойчивости окраски ZnO-НЧ – модифицированной хлопковой ткани к стиркам. Антибактериальные свойства обработанных образцов изучали диско-диффузионным методом по отношению к кишечной палочке *E.coli*, золотистому стафилококку *Staphylococcus aureus*, синегнойной палочки *Pseudomonas aeruginosa*. Полученные результаты показали, что обработанные материалы проявляют бактерицидные свойства к каждому типу микроорганизмов и обладают способностью подавлять рост бактерий. По результатам анализа сканирующего электронного микроскопа частицы оксида цинка распределены достаточно неравномерно, однако ZnO-НЧ – модифицированная хлопковая ткань не теряет свои свойства после 5 стирок. Эти результаты свидетельствуют о перспективности использования наночастиц оксида цинка для создания антибактериальных материалов.

Ключевые слова: наночастицы оксида цинка, золь-гель метод, модификация текстильных материалов, антибактериальные свойства, наночастицы.



Джаманбаева, Г.Ж. Придание антибактериальных свойств текстильным материалам золь-гель методом [Текст] / Г.Ж. Джаманбаева, Б.Р. Таусарова, Б.Н. Суримбаев, Б. Абзалбекұлы // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №2(88). – С.181-193. <https://doi.org/10.55956/ANVI5310>

Введение. В настоящее время в технологии по созданию антибактериальных текстильных материалов активно внедряются нанотехнологии, позволяя получить материалы с антимикробными свойствами безопасные для человеческого здоровья [1,2]. Использование нанотехнологий позволяет значительно снизить затраты на основной стадии производства, где расход сырья и материалов значителен. Основным и наиболее перспективным направлением расширения ассортимента и улучшения свойств текстильных материалов различного состава является не столько разработка новых видов химических веществ для производства

текстильных волокон, сколько модификация уже существующих волокон и готовых текстильных материалов с целью придания им новых свойств.

Получение антибактериальных текстильных материалов возможно, во-первых, за счет использования текстильных нановолокон и нитей в материалах, во-вторых, за счет использования нанодисперсий и наноэмульсий для пропитки и отделки текстиля [3-10]. Одна из быстро развивающихся областей современной нанотехнологии – создание и использование наноразмерных частиц различных металлов. В наноразмерном состоянии многие вещества приобретают новые свойства и становятся в биологическом отношении весьма активными. В числе наноматериалов, которые производятся в настоящее время промышленностью, особое внимание привлекают препараты наночастиц серебра, цинка, меди, золота и палладия, обладающие антибактериальными свойствами [11-29]. Наполненные наночастицами волокна малоусадочны, имеют пониженную горючесть, повышенную прочность на разрыв и истирание и в зависимости от природы вводимых наночастиц могут приобретать другие защитные свойства, требующиеся человеку.

Выбор оксидов наночастиц металлов для придания антибактериальных свойств текстильным материалам зависит от множества факторов, включая целевое применение, желаемую эффективность, безопасность и экологические последствия [11-29].

Наночастицы меди обладают антибактериальной активностью в отношении *St. Aureus*. Однако выраженное антибактериальное действие наночастиц меди в отношении *Staphylococcus aureus* имеет дозозависимый эффект, а именно полное отсутствие бактериального роста наблюдается при действии водных растворов наночастиц меди в концентрациях не менее 0,5%.

Нанозолото обладает выраженными антибактериальными свойствами, что позволяет эффективно подавлять рост различных патогенов. В отличие от некоторых других металлов, золото не вызывает токсичных эффектов и не приводит к аллергическим реакциям и может быть использовано не только для антибактериальной обработки, но и для других целей, таких как улучшение эстетических характеристик текстиля (например, золотистый блеск). Но нанозолото является дорогим материалом, что может значительно увеличивать себестоимость текстиля. Процесс синтеза и внедрения нанозолота в текстиль может быть сложным и требует специализированного оборудования. Из-за высоких затрат на материалы и технологии использование нанозолота ограничено для массового производства.

Наночастицы титана можно интегрировать в различные виды тканей, включая натуральные и синтетические, расширяя возможности применения. Они обладают сильными антибактериальными свойствами, что помогает предотвратить размножение бактерий и грибов и обеспечивать длительное антибактериальное действие, что особенно важно для текстиля, подверженного частому использованию и стирке, также могут сохранять свои свойства под воздействием УФ-излучения, что делает их эффективными в условиях солнечного света. Однако технология нанесения наночастиц титана дорогая и требует специальных условий, что увеличивает стоимость конечного продукта. Текстиль, содержащий наночастицы титана сложнее утилизировать или перерабатывать, что увеличивает нагрузку на окружающую среду и требует соблюдения строгих норм и регуляций, что усложняет процесс внедрения на рынок.

Наночастицы серебра обладают сильной токсичностью по отношению к широкому спектру микробов с меньшей токсичностью по отношению к клеткам человека, а также долговечностью и повышенной окрашиваемостью. Наноматериалы серебра хорошо известны своей самоочищающейся и антимикробной активностью. Однако исследования показывают, что наночастицы могут вызывать аллергические реакции или токсические эффекты при контакте с кожей или при вдыхании, при производстве и утилизации текстильных изделий с наночастицами серебра возможен вред для экосистем. Эти частицы могут накапливаться в окружающей среде и оказывать негативное влияние на водные организмы, также ткани с антибактериальной обработкой с использованием наночастиц серебра могут требовать особого ухода, чтобы сохранить свои свойства.

В последнее время внимание исследователей привлекают нанокомпозиты на основе наночастиц оксида цинка, которые обладают полезными оптическими, механическими, полупроводниковыми, ферроэлектрическими, пьезоэлектрическими и антибактериальными свойствами. Главным преимуществом наночастиц оксида цинка, в отличие от других оксидов наночастиц является их небольшая цена и быстрая деградация в условиях окружающей среды, что снижает нагрузку на экосистему. Наноматериалы, содержащие наночастицы оксида цинка, проявляют биоцидную активность широкого спектра действия по отношению к различным бактериям, грибкам и вирусам и имеют явное преимущество перед обычными химическими противомикробными агентами.

Достоинством использования на основе наночастиц оксидов цинка для пропитки текстильных материалов являются:

- наночастицы цинка могут убивать широкий спектр бактерий, включая такие опасные для здоровья микроорганизмы, как *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Они действуют путем разрушения клеточной структуры и среди различных соединений покрытия на основе наночастиц довольно распространены как в натуральных, так и в синтетических тканях.

- наночастицы цинка обладают прочными физическими свойствами и могут сохранять свои антибактериальные качества в течение длительного времени, даже после многократных стирок. Это делает их полезным решением для создания долговечных и эффективных антибактериальных текстильных материалов.

- цинк является относительно безопасным металлом и не обладает токсическими свойствами для человека.

- цинк является элементом, который встречается в природе и участвует в многих биологических процессах. Его использование для создания антибактериальных текстильных материалов может снизить зависимость от синтетических химикатов, которые могут быть более токсичными и вредными для окружающей среды.

- производство наночастиц цинка может быть относительно дешевым, что снизит стоимость производства антибактериальных текстильных материалов и делает их доступнее широкой публике.

В целом, использование наночастиц цинка для придания антибактериальных свойств текстильным материалам является перспективным способом создать эффективные, прочные и безопасные материалы, которые могут значительно улучшить санитарию и гигиену в различных сферах жизни.

Оксид цинка широко используется для лечения ряда различных кожных заболеваний, он обладает противораковыми свойствами и используется как ассоциаты антибактериальных агентов в каждой микро- и наноразмерной рецептуре [30-35].

При модификации текстильных материалов наночастицами оксидов металлов в настоящее время для придания волокнам различного происхождения специальных свойств используются различные методы. К примеру фотонные технологии (УФ, ИК, лазерная обработка). Обработка волокон плазменным разрядом приводит к прививанию функциональных групп на полимере в зависимости от применяемых технологических газов в плазменной камере. Данные методы открывают большие возможности в модифицировании волокон и текстиля, но существенным недостатком является высокие затраты, поскольку такие процессы требуют специального дорогостоящего оборудования и имеют специфические ограничения. Исходя из этого перспективным методом для получения волокон и текстильных материалов, модифицированных функциональными наночастицами, является золь-гель технология. Данная технология представляет собой новый способ функционализации ткани путем обработки ее в жидкофазных системах – золях, приводящей к закреплению наночастиц на поверхности волокон и тем самым приданию тканям новых, специальных свойств. Этот метод не требует больших затрат, и позволяет получать продукты особой чистоты, к тому же по сравнению с другими методами его коммерческое применение представляется наиболее эффективным. Данная технология представляет собой новый способ функционализации ткани путем обработки ее в жидкофазных системах – золях, приводящей к закреплению наночастиц на поверхности волокон и тем самым приданию тканям новых, специальных свойств [36,37].

Целью настоящей работы является обработка хлопковой ткани наночастицами оксида цинка золь-гель методом для придания антибактериальных свойств обработанных образцов.

Условия и методы исследования. Материалы и реагенты. В качестве объектов исследования использована:

– неаппретирированная хлопчатобумажная ткань артикула 140 (состав 100% хлопок, производства ООО «ИвМашТорг», ном.ширина – 200 см±2,0).

При проведении синтеза были использованы:

– Триэтоксисилан-3-аминопропил ($\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$) 99%, производства Sigma Aldrich представляет собой силилирующий агент;

– этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – органическое соединение, относящееся к классу одноатомных спиртов;

– цинк азотнокислый 6-водный – бесцветные кристаллы, растворимые в воде и спирте;

– толуол $\geq 99,5\%$ – бесцветная подвижная летучая жидкость с характерным запахом;

– гидроксид аммония (NH_4OH) – прозрачный бесцветный водный раствор, состоящий из газообразного аммиака, растворенного в воде.

Во всех опытах использовалась дистиллированная вода.

Методы исследования. Методика придания антибактериальных свойств хлопчатобумажной ткани. Перед началом модифицирования исходный образец ткани подвергали отвариванию в 200 мл раствора, содержащего Na_2CO_3 (2.8 г/л) при 100°C в течение 2 часов для удаления из

ткани остатков крахмала, естественных примесей и содержащихся в волокнах азотистых, жировосковых и пектиновых веществ. По окончании процесса отварки ткань промывали дистиллированной водой. Таким образом, после стадии отваривания ткань становится мягче, лучше подвергается смачиванию и имеет серо-бурую окраску. Далее подготовленную хлопковую ткань обрабатывали свежеприготовленным пропиточным раствором триэтоксисилана-3-аминопропил в течении 15-минут. Для этого триэтоксисилана-3-аминопропил предварительно растворили в толуоле 99,5% с плотностью 0,865 г/мл. Затем обработанные образцы перемешивали в пропиточном растворе на магнитной мешалке в течении одного часа. Параллельно нитрат цинка концентрации 15 г/моль и 25 г/моль полностью растворяли в 50 мл дистиллированной воде в химическом стакане на 250 мл при постоянном перемешивании при комнатной температуре в течении одного часа. Далее образец, обработанный раствором триэтоксисилан-3-аминопропил пропитывали в солевом растворе нитрата цинка 15 г/моль и 25 г/моль, затем также перемешивали на магнитной мешалке в течении двух часов, медленно каплями добавляя гидроксид аммония до образования белого осадка. Таким образом наночастицы оксида цинка (ZnO-НЧ) были синтезированы (рис. 1.) Смешанный солевой раствор нитрата цинка и триэтоксисилан-3-аминопропил имел мутный белый цвет и резкий запах. Обработанные образцы 2 (15 г/моль) и 3 (25 г/моль) высушивали при комнатной температуре. Затем хлопковые волокна были промыты бидистиллированной водой для удаления несвязанного оксида цинка и высушены при комнатной температуре.

Элементный анализ нанокompозитов на основе наноразмерного ZnO и наноцеллюлозы проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа HITACHI TM-1000, оборудованного EDAX детектором.

Оценка устойчивости ZnO-НЧ – модифицированной хлопковой ткани к стиркам была проведена согласно ГОСТ 9733.4-83 «Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к стиркам».

Антибактериальные свойства обработанных образцов изучали диско-диффузионным методом по отношению к кишечной палочке *E.coli*, золотистому стафилококку *Staphylococcus aureus*, синегнойной палочки *Pseudomonas aeruginosa*. Метод основан на измерении зоны задержки роста патогенных микроорганизмов вокруг исследуемого образца.

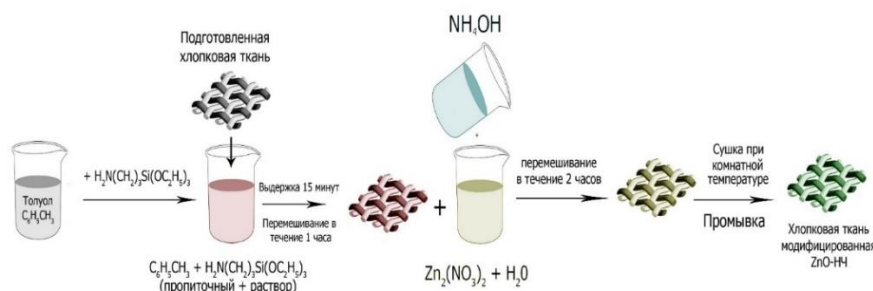
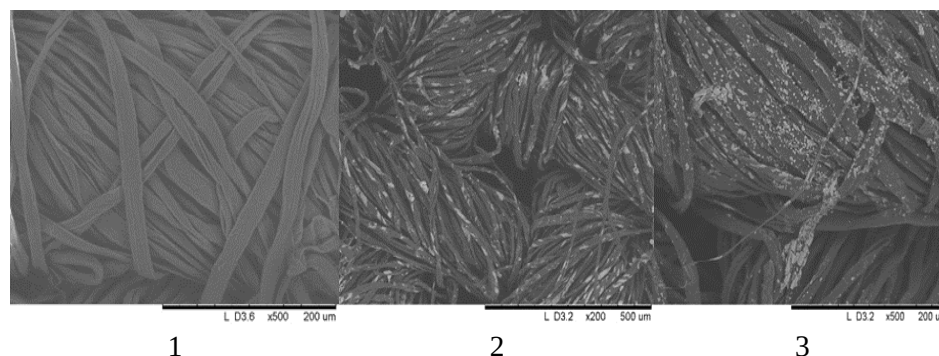


Рис. 1. Схема получения наночастиц оксида цинка и модификации хлопкового волокна

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований по модификации хлопковой ткани наночастицами оксида цинка золь-гель методом для придания антибактериальных свойств, морфология чистой и ZnO-НЧ – модифицированной хлопковой ткани представлены на рисунке 2.



1 –чистая хлопковая ткань; 2 – с концентрацией нитрата цинка 15г/моль; 3 – с концентрацией нитрата цинка – 25 /моль: ZnO-НЧ модифицированной хлопковой ткани

Рис. 2. Морфология поверхности образцов (СЭМ-изображения)

Согласно анализу сканирующего электронного микроскопа чистая хлопковая ткань не содержит загрязнений в виде примесей ионов Na^+ и Ca^{2+} , удаленных после предварительной подготовки ткани путем тщательной промывки в дистиллированной воде (рис. 2). После модифицирования 3-аминопропил триэтоксисилан и наночастицами оксида цинка в образцах 2, 3 хлопковая ткань покрыта частицами оксида цинка белого цвета, которые распределены достаточно неравномерно (рис. 2, образцы 2 и 3).

Средний элементный состав чистой и ZnO-НЧ модифицированной хлопковой ткани, полученной на основе результатов ЭДС анализа приведен в таблице 1.

Таблица 1

Элементный состав чистой (1) и модифицированной (2,3) хлопковой ткани.

Образец №	Массовая доля, %					
	C	O	Si	Zn	Ca	Na
1	55,4	44,6	-	-	-	-
2	43,3	40,4	4,1	12,0	0,1	0,1
3	36,3	40,0	5,8	17,6	0,2	0,1

Результаты элементного анализа дают количественное представление о содержании цинка и кремния в образцах, также в расчете участвуют легкие элементы C и O, принадлежащие хлопковой ткани.

Рентгенограммы образцов были получены на рентгеновском дифрактометре марки ДРОН-4 с использованием медного излучения. Режимы получения рентгенограмм образцов следующие: рабочее напряжение на рентгеновской трубке – 35 kV, ток трубки – 20 mA, шаг движения гониометра

– 0,05° 2θ и время замера интенсивности в точке – 1,5 сек. Во время съемки образец вращался в собственной плоскости со скоростью 60 об/мин.

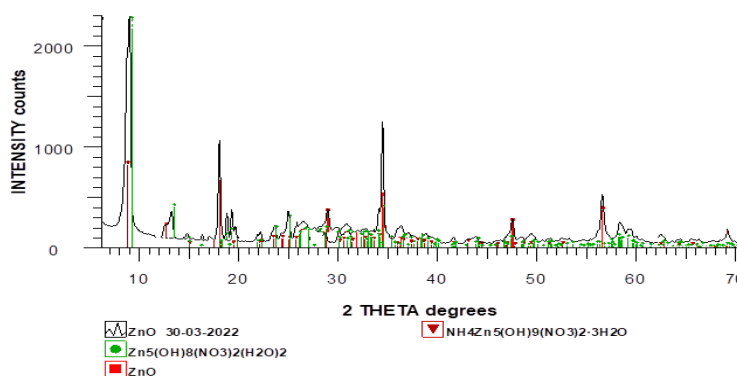


Рис. 3. Рентгенограмма образца наночастиц цинка полученные при исходной концентрации нитрата цинка 0,05 моль: $\text{Zn}_5(\text{OH})_8(\text{NO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2$ – 10,67%; ZnO – 5,47%; $\text{NH}_4\text{Zn}_5(\text{OH})_9(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – 1,97%

Рентгенограмма образца наночастиц цинка подтверждает образование оксида цинка на 5,47%, остальные соединения имеют более сложную структуру.

Для исследования ИК-спектров исходных веществ и обработанных образцов использовали спектрометр производства «Bruker». В ИК-спектре обработанного образца сохраняются все полосы поглощения, характерны для необработанного хлопкового волокна (рисунок 4). Так же показано, что в спектрах обработанных триэтоксисиланом-3-аминопропил и нитрат цинка 15 г/моль и 25 г/моль появляются новые полосы поглощения которые свидетельствуют о наличие связей Si-O- Si групп в областях 1026 и 1053 cm^{-1} , а также C-N групп в областях 1313-1427 cm^{-1} .

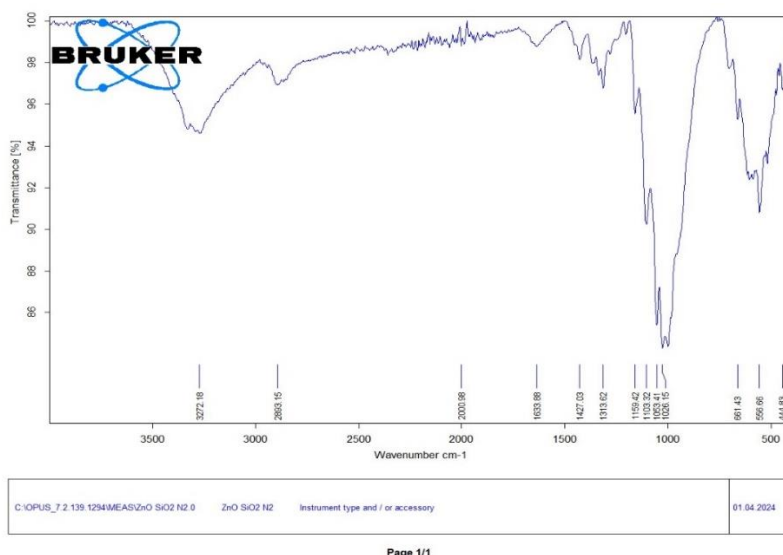


Рис. 4. ИК-спектр обработанных образцов

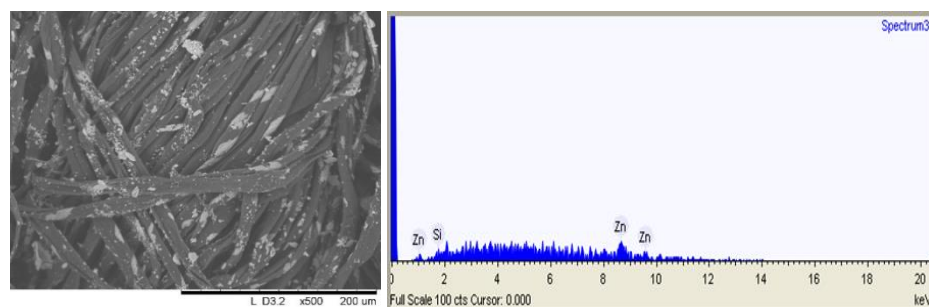
Таким образом, полученные данные при ИК-исследованиях спектров подтверждают появление химической связи между макромолекулами целлюлозы и золь-гель композицией.

Испытания устойчивости окраски к стиркам. Средний элементный состав ZnO-НЧ – модифицированной хлопковой ткани после 5 стирок, полученной на основе результатов анализа сканирующего электронного микроскопа приведены в таблице 2 и на рисунке 5.

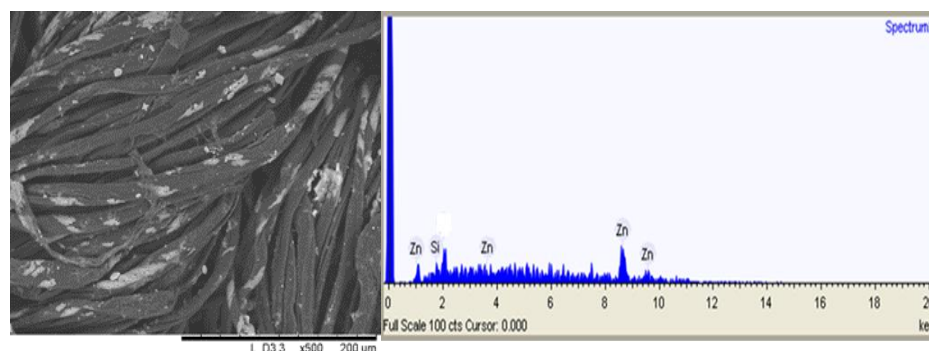
Таблица 2

Элементный состав модифицированной (2,3) хлопковой ткани ткани после 5 стирок.

Образец №	Массовая доля, %					
	C	O	Si	Zn	Ca	Na
образец №2 после 5-стирок	42,6	40,2	2,8	14,2	0,1	0,1
образец №3 после 5-стирок	38,3	40,4	5,0	16,1	0,1	0,1



Образец 2



Образец 3

Рис. 5. Анализ сканирующего электронного микроскопа ZnO-НЧ модифицированной хлопковой ткани после 5 стирок

Как видно из анализа сканирующего электронного микроскопа, после 5 циклов стирки (рис. 5) частицы оксида цинка присутствуют на поверхности хлопкового волокна. Согласно результатам ЭДС анализа было найдено пренебрежительно малое количество ионов Na и Ca в образцах 2 и 3, присутствие которых может быть обусловлено использованием Na_2CO_3 в процессе стирки согласно ГОСТ 9733.4-83. В тоже время, присутствие Ca в образцах можно объяснить тем, что на завершающем этапе стирки образцы сначала дважды прополаскивали в дистиллированной воде, а затем в холодной проточной воде в течение 10 минут.

Антибактериальные свойства обработанных образцов. Результаты антимикробной активности ZnO-НЧ – модифицированной хлопковой ткани по отношению к грамотрицательным бактериям *Pseudomonas aeruginosa*, *E.coli*, *S.aureus* представлены на рисунке 6.

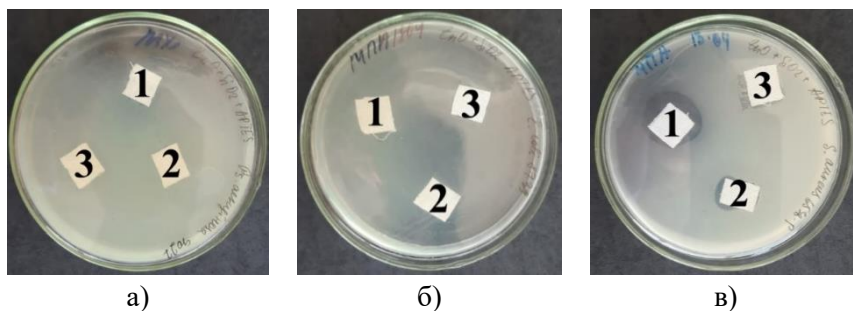
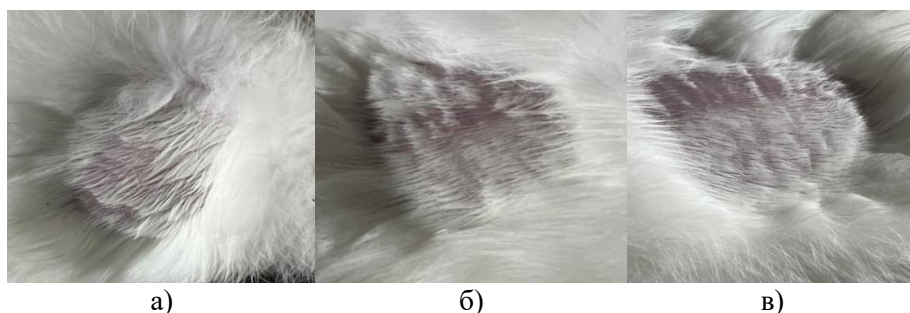


Рис. 6. Антибактериальная активность образцов против штаммов *Pseudomonas aeruginosa* (а), *E.coli* (б), *S.aureus* (в)

Показано, что образцы, обработанные составами, содержащие наночастицы оксида цинка, проявляют бактерицидные свойства к каждому типу микроорганизмов и обладают способностью подавлять рост бактерий. Для *Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli* рост бактерий на поверхности образцов полностью прекращается. Для *Staphylococcus aureus* рост бактерий замедляется, образуя зону задержки роста, которая увеличивается с увеличением концентрации наночастиц. Например, для покрытия, содержащего 15 г/моль оксида цинка, зона задержки роста составляет 3 мм, а для покрытия, содержащего 25 г/моль – 5 мм. Эти результаты свидетельствуют о перспективности использования наночастиц оксида цинка для создания антибактериальных материалов.

Исследования раздражающего действия на интактную кожу проводили на 3 (трех) кроликах, массой 1,8-1,85 кг. Разработанный состав концентрацией 15 г/моль и 25 г/моль наносили однократно на кожу с 4-часовым периодом экспозиции. Контрольный участок кожи обрабатывали физиологическим раствором и накладывали окклюзионную повязку. В ходе исследования был определен индекс первичного раздражения, вызванного разработанным составом, включая эритемы и отеки, в каждый интервал времени наблюдения.



а) Контрольный раствор; б) Раствор концентрацией 15 г/моль; в) Раствор концентрацией 25 г/моль.

Рис. 7. Обработанные образцы кожи кролика

В ходе исследования не обнаружено морфологических, физиологических и поведенческих аномалий у экспериментальных животных и не наблюдались изменения кожного покрова. Индекс первичного раздражения равен 0. Категория реакции на раздражение у кролика классифицируется как пренебрежимо малая, что свидетельствует об отсутствии раздражающего действия.

Заключение. Полученные результаты показали, что обработанные составами, содержащие 3-аминопропил триэтоксисилан и наночастицы оксида цинка, проявляют бактерицидные свойства к каждому типу микроорганизмов (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) и обладают способностью подавлять рост бактерий. По результатам анализа сканирующего электронного микроскопа частицы оксида цинка распределены достаточно неравномерно, однако ZnO-НЧ – модифицированная хлопковая ткань не теряет свои свойства после 5 стирок. Эти результаты свидетельствуют о перспективности использования наночастиц оксида цинка для создания антибактериальных материалов.

Список литературы

1. Hajipour M.J., Fromm K.M., Ashkarran A.A., de Aberasturi D.J., de Larramendi I.R., Rojo T., Mahmoudi M. Antibacterial properties of nanoparticles // Trends in biotechnology. – 2012. – Vol. 30 (10). – P. 499-511.
2. Slavin Y.N., Asnis J., Háfeli U.O., Bach H. Metal nanoparticles: understanding the mechanisms behind antibacterial activity // Journal of nanobiotechnology. – 2017. – Vol. 15. – P. 1-20.
3. Abayeva L.F. Nanochastitsy i nanotekhnologii v meditsine segodnya i zavtra [Nanoparticles and nanotechnology in medicine today and tomorrow] // Almanac of Clinical Medicine. – 2010. – Vol. 22. – P. 10-6. [in Russian].
4. Antonova M.V., Krasina I.V., Ilyushina S.V. Metody pridaniya antibakterial'nykh svoystv tekstil'nyim voloknam. Obzor [Methods of imparting antibacterial properties to textile fibers. Review] // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2014. – Vol. 17. – No. 18. – P. 56-63. [in Russian].
5. Joudeh N., Linke D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists // Journal of Nanobiotechnology. – 2022. – Vol. 20 (1). – P. 262.
6. Liang Y., Liang Y., Zhang H., Guo B. Antibacterial biomaterials for skin wound dressing // Asian Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2022. – Vol. 17 (3). – P. 353-384.
7. Mammari N., Lamouroux E., Boudier A., Duval R.E. Current knowledge on the oxidative-stress-mediated antimicrobial properties of metal-based nanoparticles // Microorganisms. – 2022. – Vol. 10 (2). – P. 437.
8. Shahidi S., Wiener J. Antibacterial agents in textile industry // Antimicrobial agents. – 2012. – P. 387-406.
9. Andra S., Balu S.K., Jeevanandam J., Muthalagu M. Emerging nanomaterials for antibacterial textile fabrication // Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology. – 2021. – Vol. 394. – P. 1355-1382.
10. Attia N.F., Morsy M.S. Facile synthesis of novel nanocomposite as antibacterial and flame retardant material for textile fabrics // Materials Chemistry and Physics. – 2016. – Vol. 180. – P. 364-372.
11. Liao C., Li Y., Tjong S.C. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles // International journal of molecular sciences. – 2019. – Vol. 20 (2). – P. 449.

12. Nikolayenko, G.R. O primeneniі nanochastits serebra v kachestve bakteritsidnogo agenta v proizvodstve kozh spetsial'nogo naznacheniya [On the use of silver nanoparticles as a bactericidal agent in the production of special-purpose leather] // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2013. – Vol. 16. – No. 8. – P. 86-88. [in Russian].
13. Bukina YU.A., Sergeyeva Ye.A. Antibakterial'nyye svoystva i mekhanizm bakteritsidnogo deystviya nanochastits i ionov serebra [Antibacterial properties and mechanism of bactericidal action of silver nanoparticles and ions] // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2012. – T. 15. – №. 14. – S. 170-172. [in Russian].
14. Sánchez-López E., Gomes D., Esteruelas G., Bonilla L., Lopez-Machado A.L., Galindo R., Souto E.B. Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: an overview // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10 (2). – P. 292.
15. Bukina YU.A., Sergeyeva Ye.A. Polucheniye antibakterial'nykh tekstil'nykh materialov na osnove nanochastits serebra posredstvom modifikatsii poverkhnosti tekstilya neravnovesnoy nizkotemperaturnoy plazmoy [Production of antibacterial textile materials based on silver nanoparticles by modifying the textile surface with nonequilibrium low-temperature plasma] // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2012. – Vol. 15. – No. 7. – P. 125-128. [in Russian].
16. Taussarova B.R., Shaikhova Zh.E., Abilkasova S.O., Yegeubayeva S.S., Jamanbayeva G.J. Modification of cellulose textile materials with copper nanoparticles, production and properties // *Scientific Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2023. – Vol. 346 (2). – P. 180-193.
17. Negut I., Grumezescu V., Grumezescu A.M. Treatment strategies for infected wounds // *Molecules*. – 2018. – Vol. 23 (9). – P. 2392.
18. Jia B., Li G., Cao E., Luo J., Zhao X., Huang H. Recent progress of antibacterial hydrogels in wound dressings // *Materials Today Bio*. – 2023. – Vol. 19. – P. 100582.
19. Godoy-Gallardo M., Eckhard U., Delgado L.M., de Roo Puente Y.J., Hoyos-Nogués M., Gil F.J., Perez R.A. Antibacterial approaches in tissue engineering using metal ions and nanoparticles: From mechanisms to applications // *Bioactive Materials*. – 2021. – Vol. 6 (12). – P. 4470-4490.
20. Javed R., Zia M., Naz S., Aisida S.O., Ain N.U., Ao Q. Role of capping agents in the application of nanoparticles in biomedicine and environmental remediation: recent trends and future prospects // *Journal of Nanobiotechnology*. – 2020. – Vol. 18. – P. 1-15.
21. Wang Z., Hu W., Wang W., Xiao Y., Chen Y., Wang X. Antibacterial electrospun nanofibrous materials for wound healing // *Advanced Fiber Materials*. – 2023. – Vol. 5(1). – P. 107-129.
22. Frei A., Verderosa A.D., Elliott A.G., Zuegg J., Blaskovich M. A. Metals to combat antimicrobial resistance // *Nature Reviews Chemistry*. – 2023. – Vol. 7(3). – P. 202-224.
23. Alavi M., Kamarasu P., McClements D.J., Moore M.D. Metal and metal oxide-based antiviral nanoparticles: Properties, mechanisms of action, and applications // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2022. – Vol. 306. – P. 102726.
24. Arif D., Niazi M.B.K., Ul-Haq N., Anwar M.N., Hashmi E. Preparation of antibacterial cotton fabric using chitosan-silver nanoparticles // *Fibers and Polymers*. – 2015. – Vol. 16. – P. 1519-1526.
25. Xu Q., Ke X., Ge N., Shen L., Zhang Y., Fu F., Liu X. Preparation of copper nanoparticles coated cotton fabrics with durable antibacterial properties // *Fibers and Polymers*. – 2018. – Vol. 19. – P. 1004-1013.
26. Ouadil B., Amadine O., Essamlali Y., Cherkaoui O., Zahouily M. A new route for the preparation of hydrophobic and antibacterial textiles fabrics using Ag-loaded graphene nanocomposite // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2019. – Vol. 579. – P. 123713.

27. Olmos D., González-Benito J. Polymeric materials with antibacterial activity: A review // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13 (4). – P. 613.
28. Gu X., Xu Z., Gu L., Xu H., Han F., Chen B., Pan X. Preparation and antibacterial properties of gold nanoparticles: A review // *Environmental Chemistry Letters*. – 2021. – Vol. 19. – P. 167-187.
29. Hazarika M., Borah D., Bora P., Silva A.R., Das P. Biogenic synthesis of palladium nanoparticles and their applications as catalyst and antimicrobial agent // *PLoS One*. – 2017. – Vol. 12(9). – P. e0184936.
30. Jamanbayeva G., Taussarova B., Surimbayev B., Shalgymbayev S. Effect of zinc nitrate concentration on obtaining zinc oxide micro- and nanoparticles // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Chemistry and Technology Sciences*. – 2022. – Vol. 3. – P. 57-67.
31. Xie Y., He Y., Irwin P.L., Jin T., Shi X. Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni* // *Applied and environmental microbiology*. – 2011. – Vol. 77 (7). – P. 2325-2331.
32. Mendes C.R., Dilarri G., Forsan C.F., Sapata V.D.M.R., Lopes P.R.M., de Moraes P.B., Bidoia E.D. Antibacterial action and target mechanisms of zinc oxide nanoparticles against bacterial pathogens // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12 (1). – P. 2658.
33. Bhuyan T., Mishra K., Khanuja M., Prasad R., Varma A. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from *Azadirachta indica* for antibacterial and photocatalytic application // *Materials Science in Semiconductor Processing*. – 2015. – Vol. 32. – P. 55-61.
34. Mirzaei H., Darroudi M. Zinc oxide nanoparticles: Biological synthesis and biomedical applications // *Ceramics International*. – 2017. – Vol. 43(1). – P. 907-914.
35. Jin S.E., Jin H.E. Antimicrobial activity of zinc oxide nano/microparticles and their combinations against pathogenic microorganisms for biomedical applications: From physicochemical characteristics to pharmacological aspects // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11 (2). – P. 263.
36. Harifi T., Montazer M. Past, present and future prospects of cotton cross-linking: New insight into nano particles // *Carbohydr Polym*. – 2012. – Vol.88. – P. 1125-1140.
37. Daoud W.A., Xin J.H. Low Temperature Sol-Gel Processed Photocatalytic Titania Coating // *J. Sol.-Gel. Sci. Technol*. – 2009. – Vol.29. – P. 25-29.

Материал поступил в редакцию 06.03.25, принят 20.06.25.

Г.Ж. Джаманбаева¹, Б.Р. Таусарова¹, Б.Н. Суримбаев², Б. Абзалбекұлы³

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта ұқсату жөніндегі ұлттық орталығы» шаруашылық жүргізу құқығындағы мемлекеттік республикалық кәсіпорынның «Қазмеханообр» мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі филиалы, Алматы қ., Қазақстан

³М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ӘДІСІМЕН ТЕКСТИЛЬ МАТЕРИАЛДАРЫНА БАКТЕРИЯҒА ҚАРСЫ ҚАСИЕТТЕР БЕРУ

Аңдатпа. Жұмыста ZnO-НӨБ модификацияланған мақта матаның жууға төзімділігін анықтау үшін сынақтар жүргізілді. Өңделген үлгілердің бактерияға қарсы қасиеттері *E. coli*, *Staphylococcus aureus* және *Pseudomonas aeruginosa*-ға қатысты дискілік диффузия әдісі арқылы зерттелді. Алынған нәтижелер өңделген материалдардың микроорганизмдердің әрбір түріне қарсы бактерицидтік қасиет

көрсететінін және бактериялардың өсуін тежеу қабілетіне ие екенін көрсетті. Электрондық микроскоптың сканерлеу нәтижелері бойынша мырыш оксидінің бөлшектері біршама біркелкі емес таралған, бірақ ZnO-НӨБ модификацияланған мақта матасы 5 рет жуудан кейін өзінің қасиеттерін жоғалтпағандығы анықталды. Бұл нәтижелер бактерияға қарсы материалдарды жасау үшін мырыш оксидінің нанобөлшектерін пайдалану мүмкіндігін көрсетеді.

Тірек сөздер: мырыш оксидінің нанобөлшектері, золь-гель әдісі, текстиль материалдарының модификациясы, бактерияға қарсы қасиеттері, нанобөлшектері.

G. Jamanbayeva¹, B. Taussarova¹, B. Surimbayev², B. Abzalbekuly³

¹*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan*

²*The branch of RSE «National Center on complex processing of mineral raw materials of the Republic of Kazakhstan» State scientific production Association of industrial ecology «KAZMEKHANOBRR», Almaty, Kazakhstan*

³*Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan*

IMPARTING ANTIBACTERIAL PROPERTIES TO TEXTILE MATERIALS USING THE SOL-GEL METHOD

Abstract. Tests were conducted to assess the wash fastness of ZnO nanoparticle (ZnO-NP) modified cotton fabric. The antibacterial properties of the treated samples were evaluated using the disk diffusion method against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*. The results demonstrated that the treated materials exhibited bactericidal activity against each type of microorganism and were able to inhibit bacterial growth. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis showed that the distribution of zinc oxide particles was relatively uneven, however, the ZnO-NP modified cotton fabric retained its antibacterial properties even after five washing cycles. These findings indicate the promising potential of zinc oxide nanoparticles for the development of antibacterial textile materials.

Keywords: zinc oxide nanoparticles, sol-gel method, modification of textile materials, antibacterial properties, nanoparticles.