

МРНТИ 64.29.23

Н.Е. Ботабаев<sup>1</sup> – основной автор, ©  
А.К. Бектурсунова<sup>2</sup>, А.К. Абсаллимова<sup>3</sup>,  
Р. Ердем<sup>4</sup>, М.Қ. Өміртай<sup>5</sup>



<sup>1,2,4</sup>PhD, <sup>3</sup>Докторант, <sup>5</sup>Магистрант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8999-7801> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5514-5870>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0000-0271-5040> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-2810-8294>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0002-1108-1304>



<sup>1,2,3,5</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова,  
г. Шымкент, Казахстан

<sup>4</sup>Университет Акдениз, г. Анталия, Турция



<sup>1</sup>[botabaev75@mail.ru](mailto:botabaev75@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/LFUJ2602>

## ИЗМЕНЕНИЕ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЯ ПРИ ИХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

**Аннотация.** В настоящем обзоре представлены влияние наночастиц металлов в процессе окрашивания текстильных волокон традиционными красителями на изменение цвета, устойчивость окраски и биоцидные потенциалы. Также приведены последние достижения в использовании наночастиц металлов в качестве новых классов красителей и антимикробных агентов, и их влияние на калориметрические и антибактериальные характеристики различных текстильных материалов. Предложены новые подходы к функционализации текстильных материалов методами зеленого синтеза НЧ различных металлов с помощью растительных экстрактов. Использование растительных экстрактов для изготовления металлических наночастиц является простым, удобным, недорогим, легко масштабируемым, менее энергоемким, экологически чистым, сводит к минимуму использование небезопасных материалов и максимально повышает эффективность процесса. Обработка НЧ-Ag усиливает цветопередачу материалов, а также улучшает устойчивость к свету и стирке, что предполагает, что эти методы могут преодолеть ограничения традиционных процессов окрашивания.

**Ключевые слова:** наночастицы металлов, наночастицы серебра, текстильный материал, калориметрическая характеристика, устойчивость окраски, антибактериальное свойство, фунгицидное свойство.



Ботабаев, Н.Е. Изменение калориметрических характеристик текстиля при антибактериальной обработке их наночастицами металлов [Текст] / Н.Е. Ботабаев, А.К. Бектурсунова, А.К. Абсаллимова, Р. Ердем, М.Қ. Өміртай // Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №2(84). – С.313-326.  
<https://doi.org/10.55956/LFUJ2602>

**Введение.** За последние несколько лет антимикробный текстиль приобрел значительный интерес для использования в различных областях применения. Наночастицы металлов, благодаря своим уникальным свойствам особенно привлекательны для производства текстильных материалов с

новыми свойствами, такими как защита от ультрафиолета, цветостойкость, влагостойкость, самоочищение и антимикробная активность. Настоящий обзор призван описать последние достижения в использовании наночастиц металлов в качестве новых красителей и антимикробных агентов, и их влияние на калориметрические характеристики различных текстильных материалов. Также показаны влияние наночастиц металлов в процессе окрашивания текстильных волокон классическими красителями на изменение цвета, устойчивость окраски и биоцидные потенциалы. Наконец, он также подчеркивает текущие проблемы и предоставляет возможности для будущих исследований [1-5].

Ранее авторами получены определенные экспериментальные доказательства рабочей гипотезы, заключающейся в том, что на окрашенном материале в ходе наномодифицирования закрепляется больше наночастиц серебра (далее – НЧ-Ag), чем на неокрашенном, при этом немаловажную роль играет факт наличия в молекуле красителя эффективных хелатирующих групп. В частности, было показано, что аминоксодержащие производные фенантрена и диазапирена, а также полученные на их основе азокрасители, имеющие в структуре молекулы хелатирующие функциональные группы, эффективно взаимодействуют с ионами металлов, образуя комплексные соединения определенного состава. Следует отметить, что использованные в их работах гетероциклические амины и их производные представляют собой интересные по химической структуре объекты, но являются все же довольно «экзотическими» соединениями с точки зрения перспектив их практического применения [6].

**Основная часть.** В этом исследовании обсуждается взаимосвязь между загрузкой хлопчатобумажной ткани коллоидными НЧ-Ag и окрашиванием прямыми красителями – С.І. (прямой желтый 86; прямой красный 79 и прямой синий 78). Изучено влияние порядка загрузки НЧ-Ag и окрашивания хлопчатобумажных тканей, а также концентрации нанесенного красителя на их антибактериальную активность и изменение цвета. Антибактериальная активность была протестирована в отношении грамотрицательной бактерии *Escherichia coli* (далее – *E.coli*) и грамположительной бактерии *Staphylococcus aureus* (далее – *S.aureus*). Окрашенные хлопчатобумажные ткани, наполненные НЧ-Ag, проявляли превосходные антибактериальные свойства независимо от концентрации красителя и порядка окрашивания и загрузки НЧ-Ag. Изменение цвета хлопчатобумажных тканей из-за присутствия НЧ-Ag сильно зависит от порядка операций, применяемого красителя и концентрации красителя. Стабильность этих нанокompозитных текстильных материалов была испытана в кислотном и щелочном искусственном поту. Выделение серебра происходило независимо от значения рН пота [7].

Результаты, полученные в ходе исследовательской работы, направлены на создание усовершенствованного способа и технологии производства текстильных материалов с наночастицами ионов серебра. Приведена подробная характеристика приготовления гидрозоля серебра и его отдельных свойств для применения в виде рабочего раствора. Кроме того, рассмотрены стадии изучения ионов и наночастиц серебра с модельными красителями и текстильными материалами, которые были окрашены при их применении. Общие сведения по созданию норм технологических режимов обработки наномодифицирующим раствором текстильных материалов и примеры испытаний вновь созданных технологий в опытном объеме являются результатами проведенных исследований [8].

Простой зеленый способ был использован для производства изношенной джинсовой одежды с антибактериальными свойствами. Наночастицы серебра были успешно синтезированы на джинсовых тканях путем восстановления нитрата серебра с использованием целлюлозных цепочек из хлопка, крахмала и/или глюкозы в щелочной среде. Глюкоза обладала способностью уменьшать цвет красителя индиго и приводила к лучшему контролю размера и стабильности частиц. Обработанные джинсовые ткани характеризовали сканирующей электронной микроскопией (далее – СЭМ), ультрафиолетовой спектрофотометрией (далее – УФС) и колориметрическими измерениями. Результаты показали успешный синтез наночастиц серебра со средним размером частиц 30–40 нм на окрашенной индиго целлюлозной ткани вместе со снижением цвета джинсовой ткани. Ткани проявляли антибактериальную активность в отношении *E.coli* и *S.aureus* [9,10].

Целью данного исследования было изучение окрашивания шерстяной ткани с помощью кислотного красителя (CI Acid Blue 92) в присутствии частиц нано серебра, с получением окрашенной антибактериальной ткани шерсти за один этап. Отмечено, что окрашивание в присутствии НЧ-Ag хорошо подходило для изотермы Фрейндлиха с высоким коэффициентом корреляции ( $R^2$ ), лучше, чем изотерма Ленгмюра. Присутствие НЧ-Ag показали высокую адсорбцию красителя и улучшенную стойкость к стирке [11].

Настоящее исследование охватывает оценку цветовой прочности и цветовых показателей хлопчатобумажных тканей, окрашенных активным красителем коралловый синий (Coralite blue FL-R) и обработанных НЧ-Ag с использованием спектрофотометра. Наночастицы серебра наносятся на хлопчатобумажные ткани вместе с реакционноспособным красителем коралловый синий разработанным способом крашения. Оценка окрашенных тканей и их исследование показали присутствие наночастиц серебра, сильно внедренных в подложку. Однако НЧ-Ag в сочетании с химически активными красителями улучшают общую прочность ткани. Значения силы цвета (K/S) тканей, обработанных НЧ-Ag, сравнивали с необработанным образцом, показывающим изменение отражающих значений и значений K/S. В заключение, цветовой анализ хлопчатобумажных тканей, окрашенных коралловым синим и обработанных наночастицами серебра, показывает разницу в значениях их цвета при изменении концентрации наночастиц серебра. Оценка значений стойкости окраски, биодegradационных свойств соответствует характеристикам обычных хлопчатобумажных тканей, окрашенных реакционноспособными красителями. Исследование также дает возможность изучить и проанализировать кинетику высвобождения наночастиц серебра для дальнейшего усиления рецептуры крашения [12].

Текущий подход фокусируется на изучении влияния включения НЧ-Ag на процесс окрашивания вискозных волокон синим активным красителем. Наносеребро сразу вводили в вискозные волокна, используя цитрат натрия в качестве наногенератора. Благодаря включению НЧ-Ag цвет волокон стал зеленовато-голубым, а более темный зеленоватый цвет наблюдался при низком содержании Ag (<1 г/кг). Независимо от последовательности процессов цветовая прочность волокон увеличивалась при увеличении содержания Ag. Постоянство цвета волокон не зависело от включения НЧ-Ag, независимо от последовательности процессов и содержания Ag. Свойство выделения Ag из волокон в воду в значительной степени зависело от последовательности процессов. При включении НЧ-Ag, во-первых, была оценена самая низкая величина выделения Ag (0,25 г/кг через 24 часа).

Противомикробная активность была значительно улучшена путем включения НЧ-Ag. Сокращение количества бактерий и грибов достигло 92,4% и 67,9% после 24 ч времени контакта соответственно [13].

Путем восстановления  $AgNO_3$  с использованием нетоксичного восстановителя и поливинилового спирта были получены наночастицы серебра. Было обнаружено, что распределение НЧ-Ag по размерам находится в диапазоне от 20 до 50 нм со сферической морфологией при наблюдении с помощью просвечивающей электронной микроскопии (далее – ПЭМ). Охарактеризованные НЧ-Ag смешивали с активным красителем, а именно с красно-коричневым ME RL, и ими окрашивали хлопчатобумажные ткани. Концентрация НЧ-Ag в реакционноспособных красителях варьировалась в мольных процентах 3, 5, 7 и 10 соответственно. Результаты исследования модифицированных тканей свидетельствуют о наличии НЧ-Ag. Показано, что НЧ-Ag нанесенные на окрашенные хлопчатобумажные ткани, более сильно связаны к поверхности и являются долговечными. Результаты подтверждают наличие покрытия после многократных стирок. Модифицированные хлопчатобумажные ткани имеют хорошую антимикробную активность в отношении грамположительных (*S.aureus* и *Bacillus subtilis* (далее – *B.subtilis*)) и грамотрицательных бактерий (*E.coli* и *K.pneumoniae*) [14].

Показан способ окрашивания шелковых тканей совместным применением наночастиц благородных металлов и традиционных красителей. Наночастицы золота и серебра были синтезированы на месте на шелковых тканях, и сложная окраска была реализована путем интеграции традиционных красителей и наночастиц металлов. Локализованный поверхностный плазменный резонанс (далее – ЛППР) наночастиц золота и серебра не были затронуты обработкой окрашенных шелковых тканей. Объединенные оптические свойства наночастиц и красителей расширили цветовую гамму и усилили цветовую прочность (K/S) шелковых тканей. Ультрафиолетовая видимая спектрофотометрия (далее – УФВС) и СЭМ продемонстрировали синтез *in situ* наночастиц золота и серебра на шелковых тканях. Окраска традиционных красителей незначительно повлияла на морфологию наночастиц золота и серебра на поверхности волокон. Шелковые ткани со сложной окраской показали значительные антибактериальные свойства. Сложная окраска, основанная на определенных наночастицах и красителях, обеспечивает многообещающую стратегию развития многофункционального текстиля [15].

Метод окрашивания *in situ* использовался для окрашивания и получения превосходных антибактериальных свойств для вискозных волокон НЧ-Ag. НЧ-Ag были приготовлены *in situ* и включены в матрицу вискозы напрямую, без использования каких-либо других восстанавливающих и стабилизирующих агентов. Основной целью данного исследования являлось успешное использование восстанавливающих и стабилизирующих свойств целлюлозы для получения наносеребро-вискозных композитов. Окраска волокон после включения НЧ-Ag *in situ* связана с поверхностным плазменным резонансом серебра. Колориметрические данные были записаны как функция стирки для характеристики конечных окрашенных волокон. Свойства быстроты и высвобождения серебра были измерены для изучения свойств стирки и износа. В зависимости от концентрации серебра были получены волокна желтоватого цвета с различными оттенками. Хорошие свойства устойчивости были получены после 20 стирок без использования сшивающего агента или связующего. Окрашенные волокна обладали превосходной

антибактериальной активностью в отношении кишечной палочки даже после 20 стирок [16].

Наночастицы серебра с различными размерами частиц и, следовательно, цветов были синтезированы на шелковых и хлопчатобумажных тканях путем восстановления нитрата серебра. Размеры частиц коллоидов серебра измеряли методом динамического рассеяния света (далее – ДЛС). Различные характеристики обработанных тканей, включая антибактериальные свойства в отношении грамположительных (*S.aureus*) и грамотрицательных (*E.coli*), цветовой эффект, устойчивость к стирке и свету также были оценены. Результаты показали, что обработанные ткани демонстрировали разные цвета в присутствии наночастиц серебра с разными размерами частиц и демонстрировали хорошие и долговечные свойства прочности. Кроме того, размер частиц серебра оказывал ощутимое влияние на антибактериальную активность обработанных тканей, и его антибактериальные свойства улучшались за счет уменьшения размера частиц [17].

Чувствительность красителей к окружающей среде обуславливает меньшую прочность и стабильность цвета, что отражает важность долговременной отделочной обработки. По используемой технологии антимикробная/долговечная отделка вискозных волокон осуществляется путем прямого получения наночастиц серебра внутри макромолекул волокон без применения внешних агентов. С применением восстановительных свойств целлюлозы в вискозе, ионы серебра ( $Au^{+3}$ ) восстанавливают до наночастиц серебра и СНО/ОН группы целлюлозы, после этого окисляют до СООН. Для сравнения были применены два разных носителя: щелочной и водный. Расширение процесса восстановления и большего включения наночастиц серебра обусловлено ростом реакционной способности и доступности макромолекул целлюлозы в щелочи. При использовании щелочной и водной среды в диапазоне 14–100 нм и 22–112 нм соответственно, был отмечен размер наночастиц серебра внутри волокна [18].

Для выпуска многофункциональной хлопчатобумажной ткани с одновременным окрашиванием и нанесением наночастиц серебра на целлюлозное волокно был создан новый зеленый способ. В процессе приготовления НЧ-Ag одновременно синтезировали и осаждали на ткани посредством синтеза *in situ* с использованием нитрата серебра и водного экстракта черного риса без других химических веществ. В этой работе экстракт черного риса был введен в качестве естественного источника восстановителя и красителя. Ультрафиолетовые видимые спектры и СЭМ (полное название) свидетельствуют о том, что наночастицы серебра были благополучно получены и равномерно распределены по поверхности целлюлозного волокна. Более того, результаты показали, что значение pH ванны синтеза сильно влияло на видимый цвет и силу цвета обработанных образцов. Когда значение pH в ванне для синтеза составляло 10, лучшее значение K/S, устойчивость к стирке, и УФ-защитные свойства проявлялись по сравнению с другими значениями pH. Вместе с тем, хлопчатобумажная ткань, прошедшая обработку, представляет очень отличные антибактериальные свойства относительно *E.coli* и *S.aureus* после 25 циклов стирки в домашних условиях. Уровень антибактериальной обработки обработанных образцов все еще превышал 80% для *E.coli* и *S.aureus* после 25 циклов стирки в домашних условиях. Это исследование представляет собой экологически чистый метод приготовления антибактериальной хлопчатобумажной ткани с хорошей устойчивостью к стирке [19].

Функциональные хлопчатобумажные ткани были приготовлены с использованием оксида титана в качестве фотокатализатора и наночастиц серебра в качестве нового класса красителей, способного модифицировать наночастицы оксида титана (далее - НЧ-TiO<sub>2</sub>). Коллоиды НЧ-Ag разных цветов в основном синтезировались путем восстановления нитрата серебра, а затем окрашивания хлопчатобумажных тканей и синтеза Ag/TiO<sub>2</sub>. Нанокompозит на поверхности ткани выполняли путем добавления НЧ-TiO<sub>2</sub> в ультразвуковую ванну. Обработанные хлопчатобумажные ткани были охарактеризованы с помощью эмиссионного СЭМ, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (далее – ЭДРС), рентгеноструктурного анализа (далее – РСА) и УФ-видимой отражательной спектроскопии. Цветовой эффект, и другие характеристики образцов также были изучены. Результаты показали, что все свойства обработанной хлопчатобумажной ткани с нанокompозитом Ag/TiO<sub>2</sub> были выше по сравнению с обработанным образцом с одним TiO<sub>2</sub>. Кроме того, фотокаталитическая активность диоксида титана не оказывает отрицательного влияния на цвет ткани, и изменение цвета обработанной ткани после УФ-облучения было незначительным [20].

В этом исследовании описывается гидротермальный синтез наночастиц оксида меди (далее – НЧ-CuO) с использованием экстракта мяты. Смесь 0,1M нитрата меди и экстракта мяты гидротермически обрабатывали при температуре 180°C в течение двух часов. Между тем, экстракт листьев мяты восстанавливал ионы меди в наночастицы через пять минут, что приводило к темно-зеленым осадкам. Наночастицы показали простую кубическую структуру с диапазоном размеров кристаллитов 22-25 нм. Согласно спектру УФВС пик поглощения наблюдался при 346 нм. Антибактериальную активность проверяли в отношении кишечной палочки E-coli и культуры B-subtilis, с помощью которых было установлено, что зоны ингибирования составляют 35 мм и 38 мм соответственно. Делается вывод о том, что НЧ-CuO обладают хорошей способностью противостоять микробам [21].

Авторы показали возможность получения цветной полиэфирной ткани посредством соносинтеза *in situ* наночастиц меди с использованием сульфата меди, гидразина, гидроксида натрия и поливинилпирролидона. Центральная композитная конструкция, основанная на методологии поверхности отклика, была использована для изучения влияния сульфата меди, гидразингидрата и гидроксида натрия на прирост массы и цвет обработанных тканей. Согласно результатам, красновато-коричневые образцы, обработанные наночастицами меди, показали превосходную антибактериальную и противогрибковую эффективность, улучшенную прочность на разрыв и пониженную смачиваемость [22].

Впервые нанокompозит серебра/оксида цинка был использован для изготовления цветных хлопчатобумажных тканей с многофункциональными свойствами. Были получены прочные цветные хлопчатобумажные ткани с самоочищающимися, эффективными антибактериальными и УФ-блокирующими свойствами. Посредством СЭМ и РСА и ЭДРС было установлено образование нанокompозитов Ag/ZnO на хлопчатобумажной ткани. Комбинация наночастиц серебра с оксидом цинка в процессе отделки привела к использованию свойств НЧ-Ag или ZnO на хлопчатобумажных тканях. Кроме того, изменение цвета модифицированных образцов после 72-часового УФ-облучения было незначительным, что продемонстрировало превосходную стойкость цвета образцов к фотокаталитической активности наночастиц оксида цинка [23].

Анизотропные НЧ-Ag были успешно использованы для окрашивания шерстяных тканей и шелковых волокон. Модифицированные шерстяные ткани демонстрировали блестящие цвета благодаря свойствам ЛППР НЧ-Ag. Цвета шерстяных тканей изменились с морфологией НЧ-Ag. Результаты показали, что анизотропные НЧ-Ag были эффективно собраны на поверхности волокон шерсти, когда pH и температура раствора составляли примерно 4 и 40°C соответственно. Внедрение НЧ-Ag на шерстяных волокнах осуществлялась путем электростатического взаимодействия между шерстяными волокнами и НЧ-Ag. В отличие от обычного процесса окрашивания шелка, который является энергоемким, процесс окрашивания наночастицами серебра достигнут при комнатной температуре. Волокна шелка проявляли сильную адсорбционную способность для НЧ-Ag в процессе окрашивания. Модифицированные шелковые волокна проявляли разные яркие цвета, так как НЧ-Ag на поверхности волокон менялись. Кроме того, хорошая устойчивость окраски к стирке достигалась благодаря нанесению полидиметилсилоксана на поверхность шелка, обработанную НЧ-Ag. Шерстяные ткани и шелковые волокна, обработанные НЧ-Ag, показали высокую антибактериальную активность против бактерий *E.coli*. Это исследование открывает новый подход к окраске и функционализации традиционных текстильных материалов [24,25].

Кинетика крашение волокон шелка и шерсти НЧ-Ag исследовались с помощью УФВС при различных температурах. НЧ-Ag, выступающие в качестве новых красителей, придают волокнам синий цвет благодаря их ЛППР. Скорость окрашивания волокон с НЧ-Ag увеличивается с ростом температуры. По сравнению с шерстью, шелк показал более высокую скорость окрашивания НЧ-Ag. Модель псевдо-первого порядка описала подходящую начальную стадию процесса окрашивания шелка и шерсти на основе НЧ-Ag. Принимая во внимание, что весь процесс окрашивания, за исключением начального этапа, соответствовал модели псевдо-второго порядка соответственно. Традиционный краситель (кислотный синий 199) использовали для сравнения с НЧ-Ag. Модель псевдо второго порядка лучше соответствовала всему процессу окрашивания кислотным синим. Энергия активации НЧ-Ag для окрашивания шелка была самой низкой среди исследованных систем окрашивания, демонстрируя, что НЧ-Ag наиболее легко комбинируется с шелковыми волокнами [26].

Волокна рами желтого цвета были получены после *in situ* синтеза НЧ-Ag. Цвет волокон рами, обработанных НЧ-Ag, темнеет при увеличении концентрации ионов серебра. Принимая во внимание, что синтез *in situ* наночастиц золота придает волокну рами красный и фиолетовый цвета. С увеличением концентрации ионов золота цвет изменился с красного на фиолетовый. Чтобы исследовать оптические особенности обработанных волокон рами, измерены спектры поглощения ультрафиолетового и видимого света волокон рами с наночастицами. Спектр поглощения волокон, обработанных НЧ-Ag, имеет одну полосу с центром при 428 нм, что соответствует ЛППР наночастиц серебра. Волокна рами, обработанные наночастицы золота (далее – НЧ-Au), имели полосу поглощения УФ-видимого излучения около 533 нм, соответствующую ЛППР наночастиц золота. Оптическое свойство ЛППР приводило к яркому цвету волокон после обработки, что обеспечивало окрашивание рами без использования традиционных красителей. СЭМ-изображения обработанных волокон

дополнительно свидетельствуют о наличии наночастиц серебра и золота на волокнах рами при различных значениях pH [27].

Представлен простой метод печати и отделки полиэфирных и хлопчатобумажных тканей с использованием НЧ-Au и НЧ-Ag в качестве стабильных, быстрых красителей и функциональных компонентов. Полосы поверхностного плазменного резонанса (далее – ППР) коллоидных НЧ-Au и НЧ-Ag наблюдались при  $\lambda_{\max}$  520 нм и 450 нм соответственно, что указывает на наличие сферических НЧ-Au и НЧ-Ag, что было дополнительно подтверждено анализом ПЭМ. Как образцы из хлопка, так и полиэфира обладали превосходной стойкостью окраски. Функциональные свойства тканей с набивным рисунком указывали на то, что включение НЧ-Au и НЧ-Ag в ткани одновременно придавало многофункциональные свойства, такие как стабильные цвета, очень стойкая антимикробная активность и очень хорошие свойства защиты от УФ-излучения. Была разработана легкая и осуществимая стратегия производства красочных и многофункциональных печатных полиэфирных и хлопчатобумажных тканей с использованием синтезированных НЧ. Этот метод отличается новизной использования золотых и серебряных наночастиц в качестве экологически чистых стабильных красителей и функциональных компонентов в одностадийном процессе печати и функциональной отделки полиэфирных и хлопчатобумажных тканей [28].

Наночастицы серебра были синтезированы на хлопчатобумажной ткани, модифицированной поли (диаллилдиметиламмоний хлоридом) (ПДДА). Исследовано влияние концентрации ПДДА в растворе на цветовые характеристики, а также оценена стойкость окраски хлопковых тканей с серебряным покрытием, модифицированных ПДДА. Результаты исследований свидетельствуют о том, что хлопчатобумажные ткани, модифицированные ПДДА, покрыты плотным слоем наночастиц серебра. Интенсивность окраски модифицированной хлопчатобумажной ткани, увеличивается с ростом концентрации ПДДА в растворе для предварительной обработки. Включение ПДДА улучшает устойчивость к стирке хлопчатобумажных тканей с НЧ-Ag [29].

Метод окрашивания *in situ* использовался для окрашивания и получения превосходных антибактериальных свойств вискозных волокон наночастицами серебра. НЧ-Ag были приготовлены *in situ* методом и включены в матрицу вискозы напрямую, без использования каких-либо других восстанавливающих и стабилизирующих агентов. Основная цель этого исследования состояла в том, чтобы успешно использовать восстанавливающие и стабилизирующие свойства целлюлозы для получения наносеребро-вискозных композитов. Окраска волокон после включения НЧ-Ag *in situ* связана с ППР серебра. Колориметрические данные были записаны как функция стирки для характеристики конечных окрашенных волокон. В зависимости от концентрации серебра, были получены волокна желтоватого цвета с различными оттенками. Хорошие свойства устойчивости были получены после 20 стирок без использования сшивающего или связующего агента. Окрашенные волокна обладали превосходной антибактериальной активностью в отношении кишечной палочки даже после 20 стирок [16].

Промышленные предприятия по окрашиванию текстиля, использующие обычные органические красители с небольшим молекулярным весом, ежедневно производят большое количество вредных сточных вод, что создает серьезные проблемы для окружающей среды. Здесь сообщается о



многообещающем чистом способе окрашивания ткани без использования органических красителей, который состоит из двух частей: первая - система контроля темноты, основанной на иммобилизации функционализированных наночастиц сажи на хлопчатобумажной ткани посредством радиационно-инициируемой совместной полимеризации с виниловыми мономерами; вторая – система управления цветом RGB (красный, зеленый и синий) путем иммобилизации наночастиц кобальта синего, кобальта зеленого, оксида железа красного на хлопчатобумажной ткани, которая может окрашивать хлопчатобумажную ткань не только тремя основными цветами RGB, но и серией различных цветов путем смешивания трех основных цветов RGB. Цвет хлопчатобумажной ткани можно точно контролировать, изменяя степень прививки наночастиц. Сильная сеть ковалентных связей между наночастицами и хлопчатобумажной тканью предотвращает выброс наночастиц во время использования, а цвет остается неизменным даже после интенсивной стирки, что эквивалентно 100 циклам стирки в домашних условиях [30].

В этой статье сообщается о новом способе окрашивания полиэфирной ткани наночастицами серебра, синтезированными зеленым цветом (G-НЧ-Ag@ПЭТ), с использованием хитозана в качестве естественного экологически чистого восстановителя. Образование НЧ-Ag было подтверждено с помощью УФ-видимой спектроскопии. Морфологии и средний размер НЧ-Ag были исследованы с помощью ПЭМ. Равномерное осаждение G-НЧ-Ag на поверхности ткани подтверждено СЭМ и инфракрасной Фурье спектроскопией (далее – ИКФС). Обнаружено, что свойства окраски и прочности ткани значительно улучшились, что связано с ППП G-НЧ-Ag. Свойства окраски и устойчивости также были улучшены при степени снижения бактерий выше 90% для обоих штаммов бактерий. Представленный способ может обеспечить потенциально новый процесс окрашивания для использования в текстильной промышленности с желаемыми функциональными свойствами [31].

Здесь описана быстрая, зеленая и простая процедура получения *in-situ* НЧ-Ag@шелк в качестве функционального красителя. Сначала ионы серебра ( $Ag^+$ ) диффундировали в матрицу шелковой ткани путем впитывания водного раствора  $AgNO_3$ , затем в качестве экологически чистого восстановителя для образования НЧ-Ag@шелк добавили спиртовой раствор феруловой кислоты, природного полифенола. УФ-видимые спектры и анализ ПЭМ подтвердили образование более или менее сферических хорошо диспергированных НЧ-Ag. Содержание Ag в НЧ-Ag@шелк определяли путем расщепления азотной кислотой с последующим ICP-OES. Установлено, что НЧ-Ag@шелк дает красивый цветовой фон от светло-коричневого до темно-золотистого. Шелк обработанный НЧ-Ag проявлял отличную антибактериальную активность (>99% бактериального снижения) и превосходную стойкость к стирке, где он ингибировал >94% *E.coli* даже после 10 циклов стирки [32].

Цветные хлопчатобумажные ткани со специальными функциями, были получены с применением оксида цинка в качестве фотокатализатора и НЧ-Ag в качестве нового класса красителей. Гомогенное распределение нанокompозита Ag/ZnO на поверхности волокна было подтверждено с помощью полевой эмиссионной сканирующей электронной микроскопией (далее - ПЭ СЭМ) и ЭДРС. Рентгенограммы показали присутствие нанокompозита на обработанной хлопчатобумажной ткани. Результаты показали, что добавление НЧ-Ag к ZnO приводит к улучшению свойств

самоочистения, даже фотокаталитическая активность ZnO не оказывает отрицательного влияния на цвет ткани [23].

В настоящей работе предложен новый подход к функционализации шелковой ткани методом зеленого синтеза НЧ-Ag впервые. Спектры ИК-Фурье подтвердили наличие функциональных групп, в то время как данные ПЭМ и РСА показывали, что синтезированные НЧ-Ag обладают хорошей кристаллической структурой. Исследования СЭМ показали, что НЧ-Ag хорошо осаждены на поверхности волокна. Влияние pH, времени и температуры также изучалось при нанесении НЧ-Ag на шелк, где были определены оптимизированные условия при pH 4 и 40°C в течение 40 минут. Обработка НЧ-Ag усилила цветопередачу шелка, а также улучшила устойчивость к свету и стирке, это предполагает, что этот метод может преодолеть ограничения традиционных процессов окрашивания. Результаты бактериального теста подтвердили высокую антибактериальную активность предлагаемого способа [33].

Окрашенные хлопчатобумажные ткани с устойчивым цветом и длительными антибактериальными свойствами изготавливаются путем последовательного осаждения разветвленных полиэтиленimina (ПЭИ), НЧ-Ag и фторированных децилполиэдрических олигомерных силесквioxсана (Ф-ПОСС) на хлопчатобумажных тканях. Нанесенные НЧ-Ag с ППР наделяют хлопчатобумажные ткани обильным цветом и антибактериальной способностью. Интеграция самовосстанавливающейся супергидрофобности в хлопчатобумажные ткани путем нанесения пленок Ф-ПОСС/НЧ-Ag/ПЭИ значительно повышает стойкость цвета ткани против стирки и механического истирания, сохраняя антибактериальные свойства НЧ-Ag [34].

Многофункциональные натуральные ткани, такие как цветные, антибактериальные и УФ-защитные получены путем включения НЧ-Ag в матрицу ткани. Хлопчатобумажные и шерстяные ткани использовались в качестве натуральных тканей, а тринатрийцитрат использовался в качестве восстановителя для Ag<sup>+</sup> и стабилизатора для НЧ-Ag. Образование НЧ-Ag на тканях были показаны с помощью СЭМ, и их размеры находились в диапазоне 20-90 нм и 70-150 нм для хлопчатобумажных и шерстяных тканей. В результате ППР НЧ-Ag получены цветные ткани с хорошими прочностными свойствами. Функциональные свойства модифицированных тканей указывают на то, что включение на месте НЧ-Ag в матрицу ткани одновременно придавало многофункциональные свойства (краситель, антибактериальное действие и защита от УФ) натуральным тканям [35].

Показана новая и *in-situ* стратегия получения наночастиц серебра на хлопчатобумажных, кожаных и шелковых тканях тремя различными способами – это зеленый, химический и сочетание зеленых и химических (композиционный). В целях проверки получения наночастиц серебра применялись различные инструментальные методы, в том числе УФВС, просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения (далее ПЭМ ВР), ИКФС и РСА. В процессе нагревания химический и композиционный методы восстанавливают ионы серебра на хлопчатобумажные, кожаные и шелковые ткани, а для образования связи с волокнами необходима щелочная среда; данное условие не применяется в методах зеленого синтеза. Композиционная технология, применяемая в целях образования связи наночастиц серебра с различными тканями, способствует обеспечению значительной координации цвета, устойчивости цвета, объемных свойств кожи и хорошей антибактериальной активности [36].

**Заключение.** Окрашенные текстильные материалы с устойчивым цветом и длительными антибактериальными свойствами изготавливаются как путем применения классических красителей совместно с наночастицами металлов, так и отдельным применением наночастиц металлов в качестве новых красителей и антимикробных агентов. При использовании для окрашивания классических красителей, в сточных водах промышленных предприятий появляется большое количество вредных веществ, что создает серьезные проблемы для окружающей среды. Отдельное применение наночастиц металлов в качестве новых красителей и антимикробных агентов дают хорошие результаты, так как по сравнению с классическими красителями, наночастицы не имеют хромофоров (отвечающих за цвет), а их цветовые свойства зависят от формы и размера частиц. Как показали приведенные анализы, наночастицы металлов синтезированы в основном двумя способами: первый – с применением восстанавливающих и стабилизирующих агентов; второй – *in situ* методом, где НЧ металлов включены в матрицу текстильных волокон напрямую, без использования каких-либо других восстанавливающих и стабилизирующих агентов. Окраска волокон после включения НЧ-металлов *in situ* методом связана с поверхностным плазменным резонансом металлов.

Предложены новые подходы к функционализации текстильных материалов методами зеленого синтеза НЧ различных металлов с помощью растительных экстрактов. Использование растительных экстрактов для изготовления металлических наночастиц является простым, удобным, недорогим, легко масштабируемым, менее энергоемким, экологически чистым, сводит к минимуму использование небезопасных материалов и максимально повышает эффективность процесса. Он особенно подходит для изготовления НЧ, которые должны быть свободны от токсичных загрязнений. Среди этих наночастиц большая часть этих исследований была сосредоточена на НЧ-Ag в качестве устойчивого текстильного красителя, превосходную стабильность цвета благодаря своим отличительным свойствам ЛППР. Обработка НЧ-Ag усиливает цветопередачу материалов, а также улучшает устойчивость к свету и стирке, что предполагает, что эти методы могут преодолеть ограничения традиционных процессов окрашивания.

#### Список литературы

1. Emam H.E., Zahran M.K. Ag<sub>0</sub> nanoparticles containing cotton fabric: Synthesis, characterization, color data and antibacterial action // International journal of biological macromolecules, 2015. Vol. 75. P. 106-114.
2. Riaz S., Ashraf M., Hussain T., Hussain M.T., Rehman A., Javid A., Aziz H. Functional finishing and coloration of textiles with nanomaterials // Coloration Technology, 2018. Vol. 134, No. 5. P. 327-346.
3. Shabbir M., Mohammad F. Multifunctional AgNPs@ Wool: Colored, UV-protective and antioxidant functional textiles // Applied Nanoscience, 2018. Vol. 8. P. 545-555.
4. Butola B.S., Mohammad F. Silver nanomaterials as future colorants and potential antimicrobial agents for natural and synthetic textile materials // RSC advances, 2016. Vol.6, No. 50. P. 44232-44247.
5. Razbrodin A.V. Nauka - tekstil'nomu proizvodstvu: noveyskiye otraslevyye nauchnyye razrabotki v sfere tekhnicheskogo tekstilya i prakticheskiy opyt ikh primeneniya [Science for textile production: the latest industry scientific developments in the field of technical textiles and practical experience in their application] // Sbornik dokladov uchastnikov Pervogo Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo simpoziuma [Collection of reports of participants of the First International Scientific and Practical Symposium], 2017. P. 322, [in Russian].

6. Kobrakov K.I., Koval'chukova O.V., Kuznetsov D.N., Rodionov V.I., Stankevich G.S. Spektrofotometricheskoye izucheniye vzaimodeystviya nekotorykh azokrasiteley, sodержashchikh khelatiruyushchiye gruppy, s ionami i nanorazmernymi chastitsami serebra [Spectrophotometric study of the interaction of some azo dyes containing chelating groups with ions and nanosized particles of silver] // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [News from universities. Textile industry technology], 2015. No. 3. P. 82, [in Russian].
7. Lazić V., Šaponjić Z., Vodnik V., Jovančić P., Nedeljković J., Radetić, M. Antibacterial and colorimetric evaluation of cotton fabrics dyed with direct dyes and loaded with Ag nanoparticles // *Industria Textilă*, 2013. Vol. 64, No. 2. P. 89-97.
8. Kobrakov K.I., Zakuskin S.G., Zolina L.I., Stankevich G.S., Kuznetsov D.N., Rodionov V.I. Nanomodified textile materials with biocidal properties: Development and pilot testing of manufacturing technology // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2017. Vol. 51. P. 815-819.
9. Maryan A.S., Montazer M., Harifi T. One step synthesis of silver nanoparticles and discoloration of blue cotton denim garment in alkali media // *Journal of Polymer Research*, 2013. Vol. 20. P. 1-10.
10. Maryan A.S., Montazer M., Harifi T. Synthesis of nano silver on cellulosic denim fabric producing yellow colored garment with antibacterial properties // *Carbohydrate polymers*, 2015. Vol.115. P. 568-574.
11. Ebadi Ahsan F., Montazer M., Amirshahi S.H., Ghanbar Afjeh M., Harifi T. Influence of nano colloidal silver in dyeing of wool with acid blue 92: isotherm adsorption, kinetic studies and dyed wool characterization // *Journal of natural fibers*, 2016. Vol. 13, No. 2. P. 204-214.
12. Ramaiah G.B., Ari A.P. Evaluation of color strength (K/S) values of cotton fabrics dyed with reactive dye and treated with silver nanoparticles // *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2019. Vol. 2162, No. 1.
13. Ahmed H.B. Emam H.E., Mashaly H.M., Rehan M. Nanosilver leverage on reactive dyeing of cellulose fibers: color shading, color fastness and biocidal potentials // *Carbohydrate polymers*, 2018. Vol. 186. P. 310-320.
14. [?] Nanosilver Enabled Reactive Dyes for Antimicrobial Medical Textiles // *NNOA*, 2016.
15. Zhang Z., Lv X., Chen Q., An J. Complex coloration and antibacterial functionalization of silk fabrics based on noble metal nanoparticles // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019. Vol. 14. P. 1558925019866948.
16. Emam H.E., Mowafi S., Mashaly H.M., Rehan M. Production of antibacterial colored viscose fibers using in situ prepared spherical Ag nanoparticles // *Carbohydrate polymers*, 2014. Vol. 110. P. 148-155.
17. Jafari N., Karimi L., Mirjalili M., Derakhshan S.J. Effect of Silver Particle size on color and Antibacterial properties of silk and cotton Fabrics // *Fibers and Polymers*, 2016. Vol. 17. P. 888-895.
18. Emam H.E., El-Hawary N.S., Ahmed H.B. Green technology for durable finishing of viscose fibers via self-formation of AuNPs // *International journal of biological macromolecules*, 2017. Vol. 96. P. 697-705.
19. Yu Z., He H., Liu J., Li Y., Lin X., Zhang C., Li M. Simultaneous dyeing and deposition of silver nanoparticles on cotton fabric through in situ green synthesis with black rice extract // *Cellulose*, 2020. Vol. 27. P. 1829-1843.
20. Jafari-Kiyani A., Karimi L., Davodi-roknbadi A. Producing colored cotton fabrics with functional properties by combining silver nanoparticles with nano titanium dioxide // *Cellulose*, 2017. Vol. 24. P. 3083-3094.
21. Aziz W.J., Abid M.A., Hussein E.H. Biosynthesis of CuO nanoparticles and synergistic antibacterial activity using mint leaf extract // *Materials Technology*, 2020. Vol. 35, No. 8. P. 447-451.
22. Afshari S., Montazer M., Harifi T., Mahmoudi Rad M. A coloured polyester fabric with antimicrobial properties conferred by copper nanoparticles // *Coloration Technology*, 2019. Vol. 135, No. 6. P. 427-438.
23. Avazpour S., Karimi L., Zohoori S. Simultaneous coloration and functional finishing of cotton fabric using Ag/ZnO nanocomposite // *Coloration Technology*, 2017. Vol. 133, No. 5. P. 423-430.

24. Tang B., Wang J., Xu S., Afrin T., Xu W., Sun L., Wang X. Application of anisotropic silver nanoparticles: Multifunctionalization of wool fabric // *Journal of colloid and interface science*, 2011. Vol. 356, No. 2. P. 513-518.
25. Tang B., Li J., Hou X., Afrin T., Sun L., Wang X. Colorful and antibacterial silk fiber from anisotropic silver nanoparticles // *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2013. Vol. 52, No. 12. P. 4556-4563.
26. Tang B., Yao Y., Chen W., Chen X., Zou F., Wang, X. Kinetics of dyeing natural protein fibers with silver nanoparticles // *Dyes and pigments*, 2018. Vol. 148. P. 224-235.
27. Tang B., Yao Y., Li J., Qin S., Zhu H., Kaur J., Wang X. Functional application of noble metal nanoparticles in situ synthesized on ramie fibers // *Nanoscale research letters*, 2015. Vol. 10. P. 1-9.
28. Abou Elmaaty T., El-Nagare K., Raouf S., Abdelfattah K., El-Kadi S., Abdelaziz E.J.R.A. One-step green approach for functional printing and finishing of textiles using silver and gold NPs // *RSC advances*, 2018. Vol. 8, No. 45. P. 25546-25557.
29. Peng L., Guo R., Lan J., Jiang S., Wang X. Silver nanoparticle coating on cotton fabric modified with poly (diallyldimethylammonium chloride) // *Materials Technology*, 2016. Vol. 31, No. 8. P. 431-436.
30. Ding X., Yu M., Wang Z., Zhang B., Li L., Li J. A promising clean way to textile colouration: cotton fabric covalently-bonded with carbon black, cobalt blue, cobalt green, and iron oxide red nanoparticles // *Green chemistry*, 2019. Vol. 21, No. 24. P. 6611-6621.
31. Hasan K.M.F., Pervez M.N., Talukder M.E., Sultana M.Z., Mahmud S., Meraz M.M., Genyang C. A novel coloration of polyester fabric through green silver nanoparticles (G-AgNPs@ PET) // *Nanomaterials*, 2019. Vol. 9, No. 4. P. 569.
32. Shahid M., Zhou Y., Cheng X.W., Zar M.S., Chen G., Tang R.C. Ferulic acid promoted in-situ generation of AgNPs@ silk as functional colorants // *Journal of cleaner production*, 2018. Vol. 176. P. 736-744.
33. Mahmud S., Sultana M.Z., Pervez M.N., Habib M.A., Liu H.H. Surface functionalization of "Rajshahi Silk" using green silver nanoparticles // *Fibers*, 2017. Vol. 5, No. 3. P. 35.
34. Wu M., Ma B., Pan T., Chen S., Sun J. Silver nanoparticle colored cotton fabrics with tunable colors and durable antibacterial and self-healing superhydrophobic properties // *Advanced Functional Materials*, 2016. Vol. 26, No. 4. P. 569-576.
35. Rehan M., Mashaly H.M., Mowafi S., Abou El-Kheir A., Emam H.E. Multi-functional textile design using in-situ Ag NPs incorporation into natural fabric matrix // *Dyes and Pigments*, 2015. Vol. 118. P. 9-17.
36. Velmurugan P., Shim J., Kim H., Lim J.M., Kim S.A., Seo Y.S., Oh B.T. Bio-functionalization of cotton, silk, and leather using different in-situ silver nanoparticle synthesis modules, and their antibacterial properties // *Research on Chemical Intermediates*, 2020. Vol. 46. P. 999-1015.

*Материал поступил в редакцию 28.04.24*

**Н.Е. Ботабаев<sup>1</sup>, А.К. Бектурсунова<sup>1</sup>, А.К. Абсаллимова<sup>1</sup>, Р. Ердём<sup>2</sup>, М.Қ. Өміртай<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Акдениз университеті, Анталья қ., Түркия

#### **МЕТАЛЛ НАНОБӨЛШЕКТЕРІМЕН БАКТЕРИЯҒА ҚАРСЫ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ ТОҚЫМА КАЛОРИМЕТРИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ**

**Аңдатпа.** Бұл шолуда дәстүрлі бояғыштармен тоқыма талшықтарын бояу процесінде металл нанобөлшектерінің түс өзгеруіне, түс тұрақтылығына және биоцидтік потенциалдарға әсері көрсетілген. Сонымен бірге металл нанобөлшектерді бояғыштардың және микробқа қарсы агенттердің жаңа кластары ретінде қолданудағы соңғы жетістіктер және олардың әртүрлі тоқыма материалдарының калориметриялық және бактерияға қарсы сипаттамаларына әсері келтірілді. Өсімдік

сығындыларын қолданып, әр түрлі металдардың НЧ жасыл синтезі әдістерімен тоқыма материалдарын функционализациялаудың жаңа тәсілдері ұсынылды. Металл нанобөлшектерін жасау үшін өсімдік сығындыларын пайдалану қарапайым, ыңғайлы, арзан, оңай масштабталатын, энергияны аз қажет ететін, экологиялық таза, қауіпті материалдарды пайдалануды азайтып, процестің тиімділігін арттырады. НЧ-Ag өңдеу материалдардың түсін күшейтеді, сонымен қатар жарық пен жууға төзімділікті жақсартып, бұл әдістер дәстүрлі бояу процестерінің шектеулерін жеңе алады деп болжамдалуда.

**Тірек сөздер:** металл нанобөлшектері, күміс нанобөлшектері, тоқыма материалы, калориметриялық сипаттама, бояуға төзімділік, бактерияға қарсы қасиет, фунгицидтік қасиет.

N.E. Botabayev<sup>1</sup>, A.K. Bektursunova<sup>1</sup>, A.K. Absallimova<sup>1</sup>, R. Erdem<sup>2</sup>, M.K. Omirtay<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>Akdeniz University, Antalya, Turkey

#### CHANGES IN THE CALORIMETRIC CHARACTERISTICS OF TEXTILES DURING ANTIBACTERIAL TREATMENT WITH METAL NANOPARTICLES

**Abstract.** This review presents the effect of metal nanoparticles in the process of dyeing textile fibers with traditional dyes on color change, color stability and biocidal potentials. The latest achievements in the use of metal nanoparticles as new classes of dyes and antimicrobial agents, and their influence on the calorimetric and antibacterial characteristics of various textile materials are also presented. New approaches to the functionalization of textile materials by methods of green synthesis of LF of various metals using plant extracts are proposed. The use of plant extracts for the manufacture of metal nanoparticles is simple, convenient, inexpensive, easily scalable, less energy-intensive, environmentally friendly, minimizes the use of unsafe materials and maximizes the efficiency of the process. LF-Ag processing enhances the color reproduction of materials, as well as improves resistance to light and washing, which suggests that these methods can overcome the limitations of traditional dyeing processes.

**Keywords:** metal nanoparticles, silver nanoparticles, textile material, calorimetric characteristic, color stability, antibacterial property, fungicidal property.