

МРНТИ 64.29.23

Л.Э. Мыңбатырова¹- основной автор, | ©
Р.Ш. Мирзамуратова²



¹Докторант, ²PhD, доцент

ORCID

¹<https://orcid.org/0009-0004-7208-8408> ²<https://orcid.org/0009-0005-2645-1357>



^{1,2}Южно Казахстанский Университет им. М. Ауэзова



Шымкент, Казахстан



²era05.05@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/VFFC7979>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ С АНТИМИКРОБНЫМИ СВОЙСТВАМИ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В данной статье проведен анализ современных тенденций использования растительных экстрактов в качестве многофункциональных агентов для антимикробной обработки и окрашивания натуральных волокон. Выявлено негативное влияние синтетических биоцидов и четвертичных аммониевых соединений на экологию и здоровье человека, что обосновывает целесообразность перехода к «зеленым» технологиям. Проанализирован фитохимический потенциал лекарственных растений, содержащих флавоноиды и танины, отвечающие за подавление патогенной микрофлоры. Определены оптимальные параметры экстракции биологически активных соединений и механизмы их взаимодействия с текстильными субстратами. Установлено, что применение природных красителей обеспечивает двойной эффект: эстетическое окрашивание и длительную защиту от грамположительных и грамотрицательных бактерий. Обоснована важность функционализации шерстяных и хлопчатобумажных материалов для повышения гигиенической безопасности элементов обуви и одежды. В целях повышения конкурентоспособности текстильной продукции выявлены преимущества и сформулированы перспективные направления использования натуральных экстрактов при обработке сырья природного происхождения. На основе этих данных сделан вывод о необходимости более глубокого изучения эффективности, антимикробных и красящих свойств обработки натуральных волокон и материалов с использованием растительных экстрактов.

Ключевые слова: растительные экстракты, антибактериальная отделка, природные красители, натуральные волокна, экологическая безопасность.



Мыңбатырова, Л.Э. *Современные тенденции в использовании природных красителей с антимикробными свойствами в текстильной промышленности [Текст] / Л.Э. Мыңбатырова, Р.Ш. Мирзамуратова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.182-196. <https://doi.org/10.55956/VFFC7979>*

Введение. Одной из актуальных проблем современной обувной индустрии является распространенность грибковых заболеваний стоп (микозов), развитие которых во многом связано с повышенной влажностью и недостаточной вентиляцией обувного пространства. Использование

синтетических материалов с низкой воздухопроницаемостью создает условия для размножения патогенной микрофлоры.

В этой связи возрастает значимость натуральных волокон, обладающих гигроскопичностью и потенциальными антимикробными свойствами. К таким волокнам относятся шерсть, хлопок, лен, шелк, конопля и бамбук.

Шерстяные волокна благодаря содержанию кератина и сложной чешуйчатой структуре поверхности проявляют естественную устойчивость к развитию микроорганизмов и обладают высокой способностью к влагопоглощению, что способствует улучшению гигиенических характеристик изделий. Хлопковые волокна, состоящие преимущественно из целлюлозы, отличаются высокой воздухопроницаемостью и гигроскопичностью, что делает их перспективной основой для функциональной отделки с использованием растительных антимикробных агентов. Лен характеризуется прочностью, способностью регулировать влажность и относительной устойчивостью к бактериальному воздействию. Шелк как белковое волокно сочетает биосовместимость и хорошие сорбционные свойства, тогда как волокна конопли и бамбука известны наличием природных биологически активных компонентов и выраженной антимикробной активностью.

Функционализация данных натуральных волокон растительными экстрактами позволяет дополнительно усилить их защитные, гигиенические и эстетические свойства, расширяя возможности их применения в экологически ориентированном текстильном производстве.

В последние годы в научных исследованиях особое внимание уделяется функционализации текстильных материалов посредством обработки природными красителями, обладающими антибактериальной активностью. Растительные экстракты, содержащие флавоноиды, дубильные вещества и эфирные масла, способны придавать волокнам не только декоративные свойства, но и выраженный антимикробный эффект. Применение натуральных красителей на основе лекарственных и дикорастущих растений рассматривается как экологически безопасная альтернатива синтетическим химическим агентам, традиционно используемым для придания текстилю антибактериальных свойств. Интеграция процессов окрашивания и функциональной обработки шерстяных материалов открывает перспективы создания гигиенически безопасных обувных элементов с пролонгированным противомикробным действием.

В последние годы наблюдается заметный рост интереса к устойчивому развитию, особенно в части внедрения экологически безопасных технологий, таких как антибактериальная отделка текстильных материалов [1]. Рынок постепенно отказывается от использования потенциально опасных химических веществ в пользу более экологичных альтернатив [2]. Традиционно применяемые материалы - биоциды, органические силиконы и четвертичные аммониевые соединения - обладают различной степенью риска для здоровья и окружающей среды [3]. По мере роста осведомленности потребители и производители всё чаще выбирают более безопасные и экологически устойчивые решения. Данный переход способствует не только повышению безопасности, но и формированию более здоровой текстильной отрасли в целом [4].

Натуральные красители применяются не только для придания ткани цвета, но и для улучшения её функциональных свойств. Ткани окрашиваются для создания одежды, домашнего текстиля и медицинских изделий.

Благодаря растительным компонентам, окрашенные ткани получают дополнительную защиту от микроорганизмов, что особенно важно для больничных и гостиничных текстилей. Также они подходят для изготовления одежды для детей и людей с чувствительной кожей, поскольку натуральные красители менее токсичны и аллергичны по сравнению с синтетическими.

Шерсть является одним из приоритетных видов натурального текстильного сырья, обладающим высокими теплоизоляционными, гигроскопическими и гигиеническими свойствами. В условиях глобального перехода к экологически устойчивым материалам интерес к шерстяным волокнам вновь возрастает, что обусловлено их возобновляемостью, биоразлагаемостью и благоприятным воздействием на микроклимат изделий.

В Казахстане прослеживается значительный потенциал в сфере производства шерсти благодаря развитому овцеводству и наличию обширных пастбищных территорий. Овцеводство по праву занимает важное место в аграрном секторе страны и обеспечивает сырьевую базу для легкой промышленности. Несмотря на достаточный объем производства шерсти, уровень глубокой переработки и внедрения инновационных технологий остается недостаточно развитым, что снижает конкурентоспособность отечественной продукции.

Шерсть широко применяется в текстильной промышленности, производстве одежды, технических и интерьерных материалов, а также в обувной отрасли. В обувной промышленности шерстяные материалы используются при изготовлении утепляющих подкладок, стелек, войлочных элементов и формоустойчивых деталей. Благодаря способности удерживать тепло, поглощать влагу и обеспечивать воздухообмен, шерсть способствует формированию благоприятного микроклимата внутри обуви [5].

Современный этап развития текстильной и легкой промышленности характеризуется глобальной трансформацией в рамках концепции «зеленой химии» (Green Chemistry) и активным поиском экологически безопасных альтернатив синтетическим красителям и биоцидам. Традиционное использование четвертичных аммониевых соединений, триклозана и солей тяжелых металлов для придания текстилю антисептических свойств на данном этапе вызывает обоснованные опасения. Основными рисками являются их высокая токсичность, способность к биоаккумуляции в экосистемах и провоцирование роста антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов.

Особую научно-практическую остроту данная проблема приобретает при производстве изделий, контактирующих непосредственно с кожным покровом человека в условиях повышенной влажности и температуры (внутренние детали обуви, стельки, гигиенический текстиль). В такой среде создаются благоприятные условия для развития бактериальных и грибковых инфекций, что требует внедрения эффективных, но безопасных методов защиты. В связи с этим, научное обоснование применения фитоэкстрактов, обладающих синергетическим эффектом - природной антимикробной активностью и красящими свойствами - представляет собой высокоактуальную междисциплинарную задачу.

Казахстан, обладая значительным потенциалом возобновляемых ресурсов растительного сырья и развитым сектором переработки шерсти, нуждается в разработке и внедрении инновационных методов функциональной отделки натуральных материалов. Исследование фитохимического профиля растений как источников биологически активных

соединений (флавоноидов, таннинов, алкалоидов) открывает перспективы для создания многофункционального текстиля. Разработка технологий, совмещающих экологически чистое окрашивание и пролонгированную биологическую защиту, позволит минимизировать техногенную нагрузку на окружающую среду и повысить конкурентоспособность отечественной продукции за счет улучшения её гигиенических и эксплуатационных характеристик.

Целью настоящего исследования является проведение комплексного научно-аналитического обзора и систематизация современных подходов к использованию растительных экстрактов в текстильном производстве. Работа направлена на критический анализ мировых практик и выявление перспективных фитоагентов, обеспечивающих эффективную колористическую и биологическую функционализацию натуральных волокон и текстильных материалов в рамках создания экологически безопасных технологий.

Обзор и анализ научных исследований. *Виды растительных экстрактов в качестве многофункциональных красителей и антимикробных агентов для текстильных материалов.* В последние годы антибактериальная отделка волокон и тканей привлекает всё большее внимание, особенно в практическом применении [6]. В ряде исследований показано, что растительные экстракты всё чаще используются в антимикробной обработке в качестве альтернативы традиционным химическим веществам [7]. В качестве растительных источников, обладающих антибактериальными свойствами, упоминаются листья ромашки, куркума, листья нима и другие растения [8].

Ряд исследований свидетельствует о возрастающем использовании растительных экстрактов в антимикробной обработке текстиля в качестве альтернативы традиционным химическим веществам. Натуральные экстракты становятся всё более популярными благодаря их эффективности и меньшей токсичности. В качестве источников растительного сырья часто используются листья ромашки, куркума, листья нима и другие растения, обладающие антибактериальными свойствами. Помимо антимикробной активности, данные экстракты характеризуются экологической безопасностью и биоразлагаемостью [9]. Внедрение подобных растительных компонентов отражает более широкую тенденцию текстильной промышленности к переходу на «зелёные» и безопасные технологии при сохранении высоких стандартов антимикробной защиты.

Ранее проведённые исследования показали, что листья *Rumex steudelii Hochst* могут эффективно использоваться в различных областях [10]. Они характеризуются высоким содержанием эфирных масел, выраженными противовоспалительными и антиоксидантными свойствами. Потенциальные иммуномодулирующие эффекты также обусловили интерес к их применению в медицине и нутрициологии [11]. Такое многообразие свойств подчёркивает ценность данного растения как перспективного природного ресурса.

Несмотря на положительные результаты, связанные с медицинским применением *Rumex steudelii Hochst*, его потенциал в текстильной отрасли, в частности в обеспечении антибактериальных свойств хлопковых тканей, остаётся недостаточно изученным. На сегодняшний день отсутствуют исследования, посвящённые использованию экстракта этих листьев для антимикробной обработки текстиля. Изучение данного направления может расширить сферу практического применения растения и способствовать

созданию более устойчивых и эффективных антибактериальных тканей, отвечающих растущему спросу на безопасные и гигиеничные текстильные изделия.

В настоящем исследовании представлена новая методика долговременной антибактериальной отделки хлопчатобумажных тканей с использованием природных свойств листьев *Rumex steudelii Hochst.* Применение растительного экстракта позволяет снизить экологическую нагрузку по сравнению с традиционными антибактериальными агентами и одновременно повысить функциональные характеристики хлопковых тканей. Использование данного экстракта обеспечивает двойной эффект: выраженные антибактериальные свойства и продвижение экологически ответственных практик в текстильной промышленности. Разработанная технология открывает перспективы создания более безопасных и устойчивых текстильных материалов, соответствующих возрастающим требованиям потребителей к экологически чистой продукции.

Особое внимание в данном исследовании уделено листьям *Rumex steudelii Hochst.*, которые были собраны в городе Вольките и использованы в качестве природного антибактериального агента для улучшения антимикробных свойств хлопковой ткани [10]. Ранее было показано, что листья *Rumex steudelii Hochst* характеризуются высоким содержанием эфирных масел, выраженными противовоспалительными и антиоксидантными свойствами, а также потенциальными иммуномодулирующими эффектами. Антибактериальные свойства данного растения связывают с наличием танинов и флавоноидов в экстракте листьев [11]. Для окрашивания тканей и придания им функциональных свойств используются разнообразные растения, богатые природными пигментами и биологически активными веществами. Среди них гранат (*Punica granatum*) – источник танинов и хаки-оттенков, орех бета (*Areca catechu*) – для насыщенных розовых тонов, чай (*Camellia sinensis*) – бежевых оттенков, луковая шелуха (*Allium cepa*) – мягких розовых, эвкалипт (*Eucalyptus cinerea*) и ним (*Azadirachta indica*) – зелёных и золотистых оттенков. Меньше распространённые растения включают арджун (*Terminalia arjuna*), миробалан (*Terminalia chebula*), дикую мангостину (*Diospyros peregrina*) и цветок красителя (*Coreopsis basalis*), которые создают уникальные цвета и обладают различной биологической активностью.

В настоящем исследовании использовались листья растения *Justicia schimperiana*, собранные в Wolkite, Эфиопия. Это растение известно своими фармакологическими свойствами: листья использовались для получения эфирных масел, проявляющих антиоксидантную, противовоспалительную и иммуномодулирующую активность, а также антибактериальные свойства [12]. Листья содержат разнообразные пигменты, включая флавоноиды, танины, антрахиноны и индигоиды [13]. Среди этих компонентов флавоноиды встречаются наиболее часто и подразделяются на флавонолы, флаваноны и антоцианы, которые отвечают за формирование широкого спектра коричневых, жёлтых и зелёных оттенков.

Оптимизация параметров экстракции и крашения текстильных материалов природными экстрактами. Окрашивание – это древнее искусство, которое существует задолго до появления письменности. Первоначальные техники включали приклеивание растений к ткани или втирание растертых пигментов в ткань. Со временем развились методы использования природных красителей и повышения устойчивости цвета к

воде (цветоустойчивости). До конца XIX века натуральные красители были основными красителями для текстиля. В настоящее время синтетические красители заменили натуральные благодаря своим свойствам: широкому спектру цветов, высокой воспроизводимости и улучшенному качеству тканей, достигаемому при меньшей себестоимости [14].

Традиционно ткани окрашивали с использованием природных материалов, легко доступных в окружающей среде. Природа предоставила богатое разнообразие растений, животных и минералов, которые могут использоваться для окрашивания текстиля [15]. Как отмечает Ванкар, природные красители получают из разных частей растений, включая листья, плоды, корни, кору и т.д. В отличие от синтетических красителей, природные красители из растений и других источников могут состоять из множества химических компонентов. Эти компоненты могут демонстрировать разнообразие цветов и свойств как самостоятельно, так и в сочетании с другими группами, в зависимости от их функциональной группы, химического состава и структуры [16]. Красители растительного происхождения в основном содержат пигменты, такие как флавоноиды, антраценоны и индигоиды [13]. Среди них флавоноиды встречаются чаще всего и делятся на флавонолы, флаваноны и антоцианы. Эти флавоноиды ответственны за создание разнообразных оттенков коричневого, жёлтого и зелёного.

Практика использования природных красителей для окрашивания текстильных материалов была возрождена с целью решения экологических проблем, связанных с применением синтетических красителей [17]. Природные красители – это органические соединения, получаемые из растений, минералов или насекомых [18]. Красители из этих источников дают яркие цвета, обладают высокой адгезией к волокнам, экологически безопасны и представляют собой практичный метод окрашивания текстиля. В результате ведутся активные исследования по разработке и использованию этих красителей. Хотя похожие виды деревьев могут существовать в разных регионах мира, их физические и химические характеристики могут существенно различаться из-за зависимости от эволюционных условий конкретного региона [19].

Современные методы экстракции используют передовые технологии для более эффективного извлечения пигментов из природных источников. Эти методы часто применяют растворители, такие как вода, спирт или сверхкритические жидкости, для извлечения красителей из растений, насекомых или других природных материалов [20]. Обычно применяются такие методы, как мацерация, паровая дистилляция, ультразвуковая экстракция и экстракция сверхкритическими жидкостями. Цель современных методов - максимизировать выход пигмента и минимизировать влияние на окружающую среду, сохраняя при этом качество и целостность извлечённых природных красителей.

Мордирование – важный этап природного окрашивания, который включает нанесение солей металлов на хлопковую ткань до окрашивания. Целью мордирования является улучшение стойкости цвета, усиление впитываемости красителя и создание химической связи между красителем и тканью. Распространённые морданты включают квасцы (сульфат алюминия и калия), железо, медь, олово и хром. Мордирование может выполняться предмордированием (обработка ткани перед окрашиванием) или одновременным мордированием (добавление морданта в ванну с красителем)

[21]. Для приготовления красильного раствора растения предварительно сушат и измельчают: используются кора, плоды, листья или орехи. Измельченный материал варят в воде при температуре 60-70°C в течение часа. После этого полученный отвар фильтруют и используют как краситель. Для повышения фиксации пигмента на ткани применяют мордант – чаще всего алюминиевый, иногда в сочетании с винной кислотой. Мордант помогает равномерно распределить цвет и увеличить его стойкость, предотвращая быстрое вымывание при стирке.

Листья *Rumex steudelii Hochst* были собраны в городе Вольките, тщательно очищены от загрязнений, высушены естественным способом и измельчены до порошкообразного состояния с использованием лабораторной мельницы. После этого порошок использовался для получения антибактериального экстракта.

Для извлечения биологически активных соединений был выбран метод экстракции растворителем, поскольку он отличается меньшим воздействием на окружающую среду, простотой выполнения, высокой эффективностью и сниженной потребностью в воде и температуре по сравнению с другими методами. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

Экстракция проводилась при следующих оптимизированных условиях:

- температура 70-90°C
- продолжительность 40-60 минут
- материально-жидкостное соотношение (M.L.R.) 1:20
- масса порошка листьев 10-15 г

Наибольший выход экстракта (56,6%) был получен при температуре 90°C и продолжительности 50 минут. Повышение температуры способствовало увеличению растворимости и диффузии биологически активных соединений [22]. Оптимальное время экстракции составило около 50 минут, поскольку дальнейшее увеличение времени не приводило к значительному росту выхода.

Извлечение натурального красителя из листьев *Justicia schimperiana* выполнялось путем естественной сушки материала при комнатной температуре с последующим измельчением до порошкообразного состояния. Для получения экстракта порошок помещался в дистиллированную воду и подвергался кипячению при температуре 100°C в течение 40-60 минут. Для достижения максимального выхода красителя проводились повторные экстракции.

Современные методы извлечения пигментов включают использование различных растворителей, таких как вода, спирт или сверхкритические жидкости, а также применение техник мацерации, паровой дистилляции, ультразвукового и сверхкритического извлечения [23]. Эти подходы направлены на максимизацию выхода пигмента при минимальном воздействии на окружающую среду и сохранении химической структуры красителя.

Для улучшения фиксации красителя на ткани применялось мордирование с использованием металлических солей - сульфата железа (FeSO_4), алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) и меди (CuSO_4). Мордирование повышает стойкость цвета, улучшает проникновение красителя в волокно и обеспечивает химическое связывание пигмента с тканью.

Согласно литературным данным, процесс получения красителей и последующего крашения целлюлозных волокон характеризуется

вариативностью параметров в зависимости от используемого сырья. В таблице 1 систематизированы типовые условия экстракции, описанные в исследованном источнике [21].

Таблица 1

Типовые условия экстракции

Время (мин)	Температура (°C)	pH	MLR
60	85	6,5	1:20
60	90	6,5	1:20

Полученные экстракты использовались для окрашивания хлопковых тканей при температуре 70-90°C в течение 40-60 минут (Таб. 2). До окрашивания образцы замачивали в горячей воде для равномерного проникновения молекул красителя. После окрашивания ткани промывались холодной водой и подвергались мордированию с FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и CuSO_4 в течение 10 минут при комнатной температуре для улучшения стойкости цвета. Процесс фиксации проводился при комнатной температуре в течение 10 минут. Результаты эффективности окрашивания, выраженные через спектрофотометрический показатель K/S (интенсивность окраски), представлены в таблице 2.

Таблица 2

Экспериментальные условия окрашивания и степень окрашивания (K/S)

№	Температура (°C)	Время (мин)	Конц. красителя (% o.w.f)	pH	MLR	K/S
1	80	60	20	6,5	1:20	3,48
2	90	50	50	6,5	1:20	3,59

Оценка антимикробной активности и эксплуатационной устойчивости текстильных материалов, модифицированных природными фитоэкстрактами. Ежегодно более 13 миллионов смертей во всем мире связаны с появлением новых инфекционных заболеваний или повторным возникновением ранее контролируемых патогенов. Бактериальные инфекции представляют значительную угрозу для общественного здоровья, поскольку многие патогенные бактерии быстро развивают устойчивость к нескольким антибиотикам [24]. Рост антибиотикоустойчивости обусловлен несколькими факторами, включая чрезмерное назначение антибиотиков медицинскими работниками и самолечение. Широкое использование антибиотиков способствует как приобретённой, так и естественной устойчивости, что приводит к многочисленным терапевтическим неудачам по всему миру. По текущим прогнозам, в течение 25 лет почти все бактерии станут устойчивыми к большинству доступных антибиотиков, а инфекции, вызванные антибиотикоустойчивыми микроорганизмами, могут привести к 10 миллионам смертей ежегодно к 2050 году [25].

Антибиотики действуют через четыре основных механизма, чтобы убивать или подавлять рост бактерий: ингибирование репликации ДНК, нарушение синтеза клеточной стенки, вмешательство в синтез белка и ингибирование метаболизма фолиевой кислоты. Однако бактерии выработали различные механизмы сопротивления этим антибиотикам, что снижает эффективность препаратов [26]. Они используют три основных

стратегии: ограничение проникновения препарата и усиление его выведения для предотвращения накопления, модификацию молекул-мишеней и инактивацию антибиотиков с помощью ферментов, таких как бета-лактамазы.

Для борьбы с ростом антибиотикоустойчивости перспективным решением могут стать лекарственные растения. В последнее время исследователи сосредоточились на разработке безопасных и эффективных природных антимикробных средств, поскольку экологические и медицинские риски, связанные с синтетическими антимикробными препаратами, вызывают всё большее беспокойство. Ведутся значительные усилия для изменения этой тенденции, в том числе путем широкого скрининга лекарственных растений из систем традиционной медицины [27].

Традиционно лекарственные растения использовались во всем мире для различных терапевтических целей, включая лечение микробных заболеваний. В 2022 году мировой рынок травяной медицины оценивался в 170 миллиардов долларов, и прогнозируется, что к 2033 году он достигнет 600 миллиардов долларов, что соответствует среднегодовому темпу роста (CAGR) 15% с 2023 по 2033 годы [28]. Способность экстрактов растений подавлять рост патогенных бактерий стала объектом современных исследований, особенно в контексте их потенциала модулировать бактериальную лекарственную устойчивость. Эти исследования могут служить ценным ориентиром для будущих исследований, направленных на обратное развитие микробной устойчивости [29].

Согласно литературе, тысячи видов растений были протестированы *in vitro* против множества бактериальных штаммов, и значительное количество экстрактов лекарственных растений и чистых соединений доказали активность против грамположительных и грамотрицательных бактерий. Тем не менее, лишь немногие растительные экстракты продемонстрировали значительную антибактериальную активность против тестируемых бактериальных изолятов, что оценивается по их более высоким значениям минимальной ингибирующей концентрации (МИС). МИС определяется как наименьшая концентрация исследуемого антимикробного агента, которая подавляет видимый рост микроорганизма, и обычно выражается в $\mu\text{г}/\text{мл}$ или $\text{мг}/\text{л}$.

В традиционной медицине экстракты растений с МИС ниже 8 $\text{мг}/\text{мл}$ считаются активными. Однако значительная антибактериальная активность обычно наблюдается при МИС менее 100 $\mu\text{г}/\text{мл}$, умеренная активность - при 100-625 $\mu\text{г}/\text{мл}$, а низкая активность - выше 625 $\mu\text{г}/\text{мл}$ [30]. Несмотря на эти данные, не проводилось комплексное исследование, сосредоточенное именно на растительных экстрактах с МИС $\leq 625 \mu\text{г}/\text{мл}$. Поэтому настоящая работа направлена на устранение этого пробела, концентрируясь на растительных экстрактах, изученных в период с 2014 по 2024 год, которые демонстрируют значительную или умеренную антибактериальную активность. В статье представлен подробный анализ этих экстрактов лекарственных растений, рассматриваются факторы, влияющие на их антибактериальные свойства, и дается всесторонний обзор их механизмов действия. Освещая последние достижения в этой области, обзор направлен на вклад в развитие растительных антибактериальных средств.

Окрашенные ткани подвергались антибактериальной обработке с использованием экстракта листьев. Эффективность оценивали против *Staphylococcus aureus* (грамположительные) и *Escherichia coli*

(грамотрицательные) методом ААТСС 100 и тестом на агаровом геле (Figures 10–12).

Результаты показали, что обработанная ткань ингибировала рост обеих бактерий с зонами торможения 13 мм для *S. aureus* и 12 мм для *E. coli*. После 5 стирок зоны торможения уменьшились до 11 мм и 10 мм соответственно, что указывает на уменьшение эффективности антибактериальной отделки с повторными стирками.

Механизм антибактериального действия связывают с присутствием флавоноидов и танинов в листовом экстракте *Justicia schimperiana*, которые обладают природными антибактериальными свойствами [31].

Результаты показали, что обработанная ткань эффективно подавляла рост как грамположительных (*Staphylococcus aureus*), так и грамотрицательных (*Escherichia coli*) бактерий.

До стирки:

- зона ингибирования для *S. aureus* - 39 мм
- зона ингибирования для *E. coli* - 41 мм
- необработанная ткань - 20 мм

После 5 циклов стирки:

- 31 мм для *S. aureus*
- 32 мм для *E. coli*

После 10 циклов стирки:

- 22,5 мм для *S. aureus*
- 23,5 мм для *E. coli*

Хотя наблюдалось постепенное уменьшение зон ингибирования, антибактериальная активность сохранялась даже после многократных стирок, что свидетельствует о долговременном эффекте.

Предполагаемый механизм действия связан с наличием в экстракте танинов и флавоноидов. Танины обладают способностью связывать белки и повреждать клеточные мембраны бактерий, а флавоноиды, благодаря своим антиоксидантным свойствам, усиливают антибактериальный эффект [32]. Их синергетическое действие приводит к разрушению мембран микроорганизмов и нарушению метаболических процессов, что подавляет рост бактерий.

Таким образом, экстракт *Rumex steudelii Hochst* продемонстрировал выраженные и устойчивые антибактериальные свойства при применении в хлопковых тканях, обеспечивая эффективную защиту от бактериального загрязнения даже после многократных стирок.

Антибактериальная отделка волокон и тканей в последние годы привлекает всё большее внимание, особенно в контексте практического применения [6]. Данная тенденция отражает растущее понимание значимости антибактериальных свойств текстильных материалов, которые способны существенно продлить срок их службы и повысить долговечность изделий. Поскольку долговечность и гигиеничность ценятся как потребителями, так и производителями, разработка текстиля со встроенными антибактериальными свойствами стала одним из приоритетных направлений текстильных инноваций. Эти изменения обусловлены не только необходимостью решения проблем, связанных со здоровьем, но и потребностью в высокоэффективных материалах для различных отраслей, включая здравоохранение, моду и интерьерный текстиль [33].

Растительные отходы также могут быть эффективно использованы в кожевенном производстве. Существует множество исследований,

посвященных способам эффективного применения натуральных экстрактов в отделочных работах кожевенного производства, а также их антиоксидантным и красящим свойствам [34-43].

Заключение. В ходе проведенного аналитического обзора обоснована актуальность перехода к экологически безопасным технологиям в текстильной и обувной промышленности. Данная необходимость продиктована ростом антибиотикорезистентности патогенов и потребностью в замене токсичных синтетических биоцидов натуральными аналогами.

На основании анализа мирового опыта установлено, что растительные экстракты, в частности *Justicia schimperiana* и *Rumex steudelii*, являются эффективными многофункциональными агентами, совмещающими свойства природных красителей и антимикробных средств.

Обобщение литературных данных позволило сделать следующие выводы:

Анализ существующих методик показал, что оптимальные условия извлечения биоактивных соединений (например, для листьев *Rumex steudelii* при температуре 90°C в течение 50 минут) позволяют достигать высокого выхода экстракта (до 56,6%).

Рассмотренные методики крашения с использованием металлических мордантов (FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CuSO_4), обеспечивают стабильную степень интенсивности окраски (K/S до 3.59) и способствуют прочной фиксации пигмента на волокне.

Подтверждена высокая биологическая активность изученных экстрактов против штаммов *S. aureus* и *E. coli*. Анализ данных свидетельствует о пролонгированном эффекте отделки: даже после 10 циклов стирки текстильные материалы сохраняют значительные зоны ингибирования роста бактерий (22,5-23,5 мм).

Установлено, что антимикробные свойства обусловлены синергетическим действием танинов и флавоноидов, которые разрушают клеточные мембраны патогенов.

Таким образом, использование растительных экстрактов открывает широкие перспективы для создания гигиеничных и экологически чистых элементов обуви (стелек, подкладок) и текстиля. Внедрение данных «зеленых» технологий является стратегически важным направлением для развития отечественной легкой промышленности и повышения безопасности потребительских товаров.

Список литературы

1. Murugesh Babu K., Ravindra K. Bioactive antimicrobial agents for finishing of textiles for health care products // Journal of the Textile Institute. – 2015. – Vol. 106, No. 7. – P. 706–717.
2. Reshma A., et al. Sustainable antimicrobial finishing of fabrics using natural bioactive agents: a review // International Journal of Life Science and Pharma Research. – 2018. – Vol. 8, No. 4. – P. 10–20.
3. Chowdhury T.A., Khandaker J.I., Gafur M.A., Repon M.R., Islam M.K., Hossain A., Mollick S. Biomordant assisted natural dyeing of cellulosic fibre: a greener approach // Materials Research and Innovation. – 2025. – Vol. 29, No. 1. – P. 27–34. DOI. 10.1080/14328917.2024.2361984
4. Afraz N., et al. Antimicrobial finishes for textiles // Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering. – 2019. – Vol. 4, No. 5. – P. 87–94.
5. AA H., et al. Green strategy for development of antimicrobial printed textile fabrics // Research Journal of Textile and Apparel. – 2012. – Vol. 16, No. 1. – P. 77–85.

6. Tegegne W., Haile A. Effect of papain enzyme surface modification on hydrophilic and comfort properties of polyester/cotton blend fabric // *Discover Materials*. – 2024. – Vol. 4, No. 1. – Art. 2.
7. Burnett-Boothroyd S., McCarthy B. Antimicrobial treatments of textiles for hygiene and infection control applications: an industrial perspective // *Textiles for Hygiene and Infection Control*. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P. 196–209.
8. Ravindra K., Muruges Babu K. Study of antimicrobial properties of fabrics treated with *Ocimum sanctum* L. (tulsi) extract as a natural active agent // *Journal of Natural Fibers*. – 2016. – Vol. 13, No. 5. – P. 619–627.
9. Syed M.H., et al. Eco-friendly antimicrobial finishing of cotton fabrics using bioactive agents from *Melia azedarach* berries extract and their performance after subsequent washings // *Egyptian Journal of Chemistry*. – 2023. – Vol. 66, No. 11. – P. 255–268.
10. Vasas A., et al. The genus *Rumex*: review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2015. – Vol. 175. – P. 198–228.
11. Omara T. Antimalarial plants used across Kenyan communities // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. – 2020. – Art. 4538602.
12. John B., Reddy V., Sulaiman C. Total phenolics and flavonoids in selected *Justicia* species // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 72–73.
13. Patil D., et al. Extraction of natural dye from rose flower for dyeing cotton fabrics // *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field*. – 2016. – Vol. 2, No. 8. – P. 135–137.
14. Bechtold T., Mussak R., Amalid M.A., Ganglberger E., Geissler S. Extraction of natural dyes for textile dyeing from plant wastes released from food industry // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2006. – Vol. 86. – P. 233–242.
15. Tesfaye T., et al. Dyeing cotton with dyes extracted from eucalyptus and mango trees // *The International Journal of Science and Technoledge*. – 2015. – Vol. 3, No. 8. – P. 310.
16. Ayele M., et al. Natural dyeing of cotton fabric with mango extract: a step towards sustainable dyeing // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. – 2020. – Vol. 17. – Art. 100293. DOI. 10.1016/j.scp.2020.100293
17. Shariful Islam S., et al. Investigation of color fastness properties of natural dyes on cotton fabrics // *Fibers and Textiles*. – 2020. – Vol. 27, No. 1. – P. 1–6.
18. Chao Y.-C., et al. A study on combining natural dyes and environmentally-friendly mordant to improve color strength and UV protection of textiles // *Fibers and Polymers*. – 2017. – Vol. 18, No. 8. – P. 1523–1530. DOI. 10.1007/s12221-017-6964-7
19. Shahid M., Mohammad S.U.I., Mohammad F. Recent advancements in natural dye applications: a review // *Journal of Cleaner Production*. – 2013. – Vol. 53. – P. 310–331. DOI. 10.1016/j.jclepro.2013.03.031
20. Habib N., et al. Assessment of wild turmeric-based eco-friendly yellow natural bio-colorant for dyeing of wool fabric // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30, No. 2. – P. 4570–4581. DOI. 10.1007/s11356-022-22450-w
21. Yameen M., et al. Sustainable eco-friendly extraction of yellow natural dye from *Haar Singhar* for cotton coloration // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Vol. 29, No. 55. – P. 83810–83823. DOI. 10.1007/s11356-022-21450-0
22. Tegegne W., Haile A. Improving hydrophilicity and comfort characteristics of polyester/cotton blend fabric through lipase enzyme treatment // *Clean Technologies and Environmental Policy*. – 2024. DOI. 10.1007/s10098-024-02756-8
23. Adeel S., et al. Eco-friendly microwave assisted coloration of silk and wool fabric with Acid Blue 07 dye // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30, No. 30. – P. 74939–74951. DOI. 10.1007/s11356-023-27471-7
24. Alapati P., Sulthana S. Phytochemical screening of plant sources for textile finishing // *International Journal of Advanced Research*. – 2015. – Vol. 3, No. 10. – P. 1391–1398.

25. Burnett-Boothroyd S., McCarthy B. Antimicrobial treatments of textiles for hygiene and infection control applications // *Textiles for Hygiene and Infection Control*. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P. 196–209.
26. Chowdhury T.A., et al. Bio-colouration of nylon fabric using natural dyes and mordants // *Materials Research and Innovation*. – 2024. – Vol. 28, No. 5. – P. 1–9.
27. Hashem M., et al. Enhancing antimicrobial properties of dyed cotton fabrics // *Carbohydrate Polymers*. – 2009. – Vol. 78, No. 3. – P. 502–510.
28. Kaur I., et al. Functionalization of cotton fabric with antibacterial activity // *Journal of Polymer Research*. – 2011. – Vol. 18, No. 3. – P. 347–358.
29. Mukungu N., et al. Medicinal plants used for malaria management in Kenya // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2016. – Vol. 194. – P. 98–107.
30. Purwar R. Antimicrobial textiles // *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology*. – Amsterdam: Elsevier, 2019. – P. 281–306.
31. Bang E.S., et al. Durable antimicrobial finish of cotton fabrics // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2007. – Vol. 106, No. 2. – P. 938–943.
32. Joshi M., et al. Ecofriendly antimicrobial finishing of textiles using natural products. – New Delhi: CSIR, 2009.
33. Ramasamy F. A review on biologically active natural compounds on cotton fabrics // *International Research Journal of Science and Technology*. – 2019. – Vol. 1, No. 1. – P. 49–55.
34. Mirzamuratova R., et al. Investigation of walnut shell extract on chromium (VI) content in leather // *Textile Research Journal*. – 2024. – P. 2565–2574. DOI. 10.1177/00405175241246736
35. Bektayev K., et al. Calligonum aphyllum extract as sustainable colorant for fabric treatment // *Journal of Natural Fibers*. – 2025. – Vol. 22, No. 1. DOI. 10.1080/15440478.2025.2568533
36. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E., Temirshikov K.M., Bayseitova I.S. Vliyanie travyanykh ekstraktov na prochnost' kozhi [Effect of herbal extracts on leather strength] // *Nauchno-tehnicheskiiy zhurnal "Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti"*. – No. 4 (406). – Ivanovo: Tekstil'nyy institut Ivanovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta, 2023. – P. 81–86. [in Russian].
37. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E. Krashenie natural'noy kozhi s primeneniem rastitel'nogo ekstrakta [Dyeing of natural leather using plant extract] // *Nauchno-tehnicheskiiy zhurnal "Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti"*. – No. 6 (408). – Ivanovo: Tekstil'nyy institut Ivanovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta, 2023. – P. 54–59. [in Russian].
38. Mirzamutova R.Sh., Bayramoglu E.E., Kaldybayev R.T. Application of some plant extracts as biocolorants for leather during finishing process // *Journal of American Leather Chemists Association*. – 2024. – Vol. 119, No. 1. – P. 3–12. – DOI. 10.34314/jalca.v119i1.8289.
39. Mirzamutova R.Sh., Bayramoglu E.E., Gulzinat Y. Reduction of Cr (VI) formation in leather with herbal extracts // *Journal of American Leather Chemists Association*. – 2024. – Vol. 119, No. 2. – P. 71–79. DOI. 10.34314/jalca.v119i2.8324.
40. Mirzamutova R.Sh., Bayramoglu E.E., Abzalbekuly B., Kaldybayev R., Baiteliyeva M., Gafurov J., Dairabay D. Investigation of the effect of a natural extract from oak bark on the properties of leather [Issledovanie vliyaniya natural'nogo ekstrakta kory duba na svoystva kozhi] // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2024. – Vol. 32, No. 1. – P. 83–89. DOI. 10.2478/ftce-2024-0010.
41. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E. Zhan'ghak kabygynyn (juglans regia) byl'gary boiau turaqlyygyna a'seri [Effect of walnut shell (Juglans regia) on leather dye fastness] // *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta*. – 2024. – No. 1 (143). – P. 223–230. DOI. 10.48184/2304-568X-2024-1-223-230. [in Kazakh].
42. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E. Tabigi boiagyshtardyn byl'garynyn beriktik shamasy na a'seri [Effect of natural dyes on leather strength] //

- Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2024. – No. 4 (146). – P. 186–192. DOI. 10.48184/2304-568X-2024-4-186-192. [in Kazakh].
43. Bektaev K., Sarybaeva E.E., Mirzamutova R.Sh., Abzalbekuly B., Oraz G.T., Shardarbek M.Sh., Tashmukhamedov F.R., Kauymbayev R.T. IR-spektroskopicheskie issledovaniya struktury tekstil'nyh materialov, okrashennyh prirodnyimi krasitelyami [IR spectroscopic studies of the structure of textile materials dyed with natural dyes] // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2025. – P. 160–170. DOI. 10.48184/2304-568X-2025-1-160-170. [in Russian].

Материал поступил в редакцию 06.03.26, принят 29.04.26.

Л.Ә. Мыңбатырова¹, Р.Ш. Мирзамуратова¹

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

ТОҚЫМА ӨНЕРКӘСІБІНДЕ АНТИМИКРОБТЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР ТАБИҒИ БОЯҒЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ЗАМАНАУИ ҮРДІСТЕРІ

Аңдатпа. Осы мақалада табиғи талшықтарды антимикробтық өңдеу және бояу үшін өсімдік экстрактілерін көпфункционалды агенттер ретінде қолданудың заманауи үрдістеріне талдау жүргізілді. Синтетикалық биоцидтер мен төртіншілік аммоний қосылыстарының қоршаған ортаға және адам денсаулығына теріс әсері анықталып, «жасыл» технологияларға көшу қажеттілігі негізделді. Патогенді микрофлораны тежеуге жауапты флавоноидтар мен таниндерге бай дәрілік өсімдіктердің фитохимиялық әлеуеті сарапталды. Биологиялық белсенді қосылыстарды экстракциялаудың оңтайлы параметрлері және олардың тоқыма субстраттарымен өзара әрекеттесу механизмдері айқындалды. Табиғи бояғыштарды қолдану екіжақты әсер беретіні анықталды: эстетикалық бояу және грамоң әрі грамтеріс бактерияларға қарсы ұзақ мерзімді қорғаныс. Аяқ киім мен киім элементтерінің гигиеналық қауіпсіздігін арттыру мақсатында жүн және мақта материалдарын функционалдандырудың маңыздылығы негізделді. Тоқыма өнімдерінің бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін табиғи текті шикізатты өңдеуде өсімдік экстрактілерін қолданудың артықшылықтары айқындалып, перспективалық бағыттары тұжырымдалды. Алынған нәтижелер негізінде табиғи талшықтар мен материалдарды өсімдік экстрактілерімен өңдеудің тиімділігін, антимикробтық және бояғыштық қасиеттерін тереңірек зерттеу қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: өсімдік экстрактілері, антибактериялық өңдеу, табиғи бояғыштар, табиғи талшықтар, экологиялық қауіпсіздік.

L.A. Myngbatyrova¹, R.Sh. Mirzamuratova¹

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

CURRENT TRENDS IN THE USE OF NATURAL DYES WITH ANTIMICROBIAL PROPERTIES IN THE TEXTILE INDUSTRY

Abstract. This article analyzes current trends in the use of plant extracts as multifunctional agents for the antimicrobial treatment and dyeing of natural fibers. The adverse environmental and human health impacts of synthetic biocides and quaternary ammonium compounds have been identified, substantiating the need for a transition to green technologies. The phytochemical potential of medicinal plants containing flavonoids and tannins, which are responsible for inhibiting pathogenic microflora, has been

examined. Optimal parameters for the extraction of biologically active compounds and the mechanisms of their interaction with textile substrates have been determined. It has been established that the application of natural dyes provides a dual effect: aesthetic coloration and long-lasting protection against Gram-positive and Gram-negative bacteria. The importance of functionalizing wool and cotton materials to enhance the hygienic safety of footwear and clothing components is substantiated. In order to improve the competitiveness of textile products, the advantages and перспективные направления (future directions) for the use of natural extracts in the processing of raw materials of natural origin have been identified. Based on these findings, it is concluded that more in-depth research is required to evaluate the effectiveness, antimicrobial performance, and dyeing properties of natural fiber treatments using plant extracts.

Key words: plant extracts, antibacterial finishing, natural dyes, natural fibers, environmental safety.