



Разработка биоцидной пропитки для текстильных материалов различного состава

З.А. Шафигуллина[✉], С.Р. Бухаева, Н.П. Коломацкая, М.С. Сугонякина

Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «48 Центральный научно-исследовательский институт» (г. Екатеринбург) Министерства обороны Российской Федерации
620085, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Звездная, д. 1
✉ e-mail: 47051_l@mail.ru

Текстиль, используемый в медицинских учреждениях и других местах массового скопления людей во время эпидемий и боевых действий, подвержен биологической нагрузке и может являться источником микробного загрязнения.

Цель работы – оценить антимикробную эффективность биоцидных рецептур на основе четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) и полимерных производных гуанидина в качестве антибактериальных пропиток текстильных материалов из природных и синтетических волокон.

Материалы и методы. Исследовалась научная литература по биоцидным добавкам, доступная через открытые отечественные и англоязычные ресурсы. В работе использовались текстильные материалы из природных и синтетических волокон и антибактериальные пропитки (рецептуры) различного состава. В качестве тест-микроорганизмов – суточные агаровые культуры золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus* (штамм 906) и кишечной палочки *Escherichia coli* (штамм 1257). Оценку эффективности антибактериальных пропиток для текстильных материалов в отношении тест-микроорганизмов выполняли с использованием методов «агаровых пластин» и «капельного заражения». Биоцидную пропитку антимикробной ткани считали эффективной, если величина зоны задержки роста тест-микроорганизмов составляла не менее 4 мм.

Результаты и обсуждение. В исследованной литературе не представлены сведения о возможности применения таких композиций в качестве пропитки для создания ткани с антимикробными свойствами. В ходе экспериментальных исследований получены данные о бактериостатических и бактерицидных свойствах используемых рецептур. Проведен сравнительный анализ полученных результатов, позволивший сделать вывод о наиболее эффективных рецептурах, используемых для пропитки различных видов тканей.

Выводы. Наилучшим антибактериальным эффектом в отношении грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов обладает пропитка, содержащая 0,05 % алкилдиметилбензиламмоний хлорида, 0,05 % полигексаметиленгуанидин гидрохлорида, 0,05 % триамина и 40,0 % пропиленгликоля, так как ее применение придает защитные свойства не только ткани смешанного состава (хлопок 65 % и полиэстер 35 %), но и синтетической ткани (полиамид 100 %). Рецептура, содержащая 0,05 % катанола и 40,0 % полиэтиленгликоля может быть использована для создания антибактериальной пропитки ткани смешанного состава против грамположительных микроорганизмов.

Ключевые слова: антимикробная пропитка; боевые действия; золотистый стафилококк; зона задержки роста; капельное заражение; кишечная палочка; полигуанидин; текстильный материал; четвертичное аммониевое соединение; эпидемии

Для цитирования: Шафигуллина З.А., Бухаева С.Р., Коломацкая Н.П., Сугонякина М.С. Разработка биоцидной пропитки для текстильных материалов различного состава. Вестник войск РХБ защиты. 2024;8(3):243–255. EDN:jgvkqn.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2024-8-3-243-255>

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «48 Центральный научно-исследовательский институт» (г. Екатеринбург) Министерства обороны Российской Федерации.

Поступила 16.05.2024 г. После доработки 22.07.2024 г. Принята к публикации 27.09.2024 г.

© З.А. Шафигуллина, С.Р. Бухаева, Н.П. Коломацкая, М.С. Сугонякина, 2024

Development of Biocidal Soaking Agents for Various Textile Goods

Zlata A. Shafigullina[✉], Svetlana R. Bukhaeva, Nina P. Kolomatskaya[†],
Maiya S. Sugonyakina

Branch Office of 48 Central Scientific Research Institute (Yekaterinburg) of the Ministry
of Defence of the Russian Federation
Zvezdnaya Str. 1, Yekaterinburg 620085, Russian Federation
✉ e-mail: 47051_l@mil.ru

Textile materials that are used in medical facilities and other mass gathering locations, employed at the time of epidemics and military engagements are vulnerable to bioburden and may become a source of microbial contamination.

Purpose of the study – to evaluate antimicrobial efficiency of biocidal compositions that are based on quaternary ammonium compounds and guanidine derivative polymers that are used as antimicrobial soaking agents for natural and synthetic textiles.

Materials and methods. The authors have analyzed available literature on biocidal additives both in English and Russian languages. The authors also have tested natural and synthetic textiles and different antimicrobial soaking agents (compositions). One-day agar cultures of *Staphylococcus aureus* (strain 906) and *Escherichia coli* (strain 1257) served as test microorganisms. The efficiency of antimicrobial soaking agents for textiles towards test microorganisms has been evaluated by “agar plates” and “droplet infection” methods. Biocidal treatment of antimicrobial fabric was considered effective, if the inhibition zone of test microorganisms was at least 4 mm.

Results. The papers under analysis have no data on the possibility of use of such compositions as soaking agents that will permit to obtain antimicrobial fabrics. The experimental studies provided data on bacteriostatic and bactericidal properties of used compositions. The comparative analysis has allowed to determine the most efficient compositions used for soaking of different fabrics.

Conclusions. The soaking that contains 0,05% alkyltrimethylbenzylammonium chloride, 0,05% polyhexamethylene guanidine hydrochloride, 0,05% triamin and 40,0% propylene glycol has turned out to be the most efficient one towards gram-positive and gram-negative microorganisms. It gives protective properties both to synthetic (polyamide 100%) and mixed fabrics (cotton 65% and Composition that contains 0,05% katanol and 40,0% polyethyleneglycol may be used to create antimicrobial soaking for fabrics of mixed compositions. This soaking may also be effective towards gram-positive microorganisms.

Keywords: antimicrobial soaking agents; droplet infection; epidemics; *Escherichia coli*; inhibition zone; military engagements; polyguanidine, *Staphylococcus aureus*; textile materials; quaternary ammonium compound

For citation: Shafigullina Z.A., Bukhaeva S.R., Kolomatskaya N. P., Sugonyakina M.S. Development of Biocidal Soaking Agents for Various Textile Goods. *Journal of NBC Protection Corps.* 2024;8(3):243–255. EDN:jgvkqn.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2024-8-3-243-255>

Financial disclosure: The authors have no financial interests in the submitted materials or methods.

Conflict of interest statement: The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: Branch Office of 48 Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation (Yekaterinburg), Zvezdnaya Street 1, Yekaterinburg.

Received May 16, 2024. Revised July 22, 2024. Accepted September 27, 2024

Текстиль, используемый в медицинских учреждениях и других местах массового скопления людей во время эпидемий и боевых действий, подвержен биологической нагрузке и может являться источником микробного загрязнения. Наибольшему микробному

[†] Deceased.

обсеменению подвергаются униформа медицинских работников [1, 2], одежда и постельное белье пациентов в период их госпитализации [3, 4], шторы и жалюзи в помещениях [5, 6].

В связи с массовым внедрением в практику медицинской дезинфекции средств на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), в частности биоцидных рецептур на основе четвертичных аммониевых соединений (ЧАС), становится актуальной проблема возможного формирования к ним устойчивых штаммов микроорганизмов. Для решения этой проблемы необходима разработка многокомпонентных дезинфицирующих композиций, в состав которых входят активнодействующие вещества в минимальных эффективных концентрациях.

Цель работы – оценить антимикробную эффективность биоцидных рецептур на основе четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) и полимерных производных гуанидина в качестве антибактериальных пропиток текстильных материалов из природных и синтетических волокон.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ достигнутого уровня в создании текстильных материалов, обладающих бактерицидными свойствами.

2. Экспериментально оценить бактериостатические и бактерицидные свойства тестовых образцов.

3. Провести сравнительный анализ и представить оценку эффективности использованных рецептур для создания антимикробной пропитки, применяемой к различным видам тканей.

Материалы и методы

Исследовалась научная литература, доступная через открытые отечественные и англоязычные ресурсы. Основное внимание уделялось поиску и анализу информации о возможности применения композиций на основе четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) и полимерных производных гуанидина в качестве антибактериальных пропиток для создания ткани с антимикробными свойствами.

При выборе веществ, используемых для создания антимикробных пропиток, важным условием являлось их соответ-

ствие классу опасности 3 или ниже согласно ГОСТ 12.1.007-76¹. В работе использованы следующие вещества для создания пропиток:

- алкилдиметилбензиламмоний хлорид, содержание основного вещества 50 %, 4 класс опасности, CAS: 68391-01-5, производитель ООО «Спектропласт», Россия;

- полигексаметиленгуанидин гидрохлорид, 3 класс опасности, производитель ООО «ФАРМА-ПОКРОВ», Россия;

- триамин (N,N-бис(3-аминопропил)додециламин), содержание основного вещества 29,5 %, 4 класс опасности, производитель Lonza, Швейцария;

- 1,2-пропиленгликоль, ХЧ, 3 класс опасности, ТУ 6-09-2434-81 изм. 1-4, производитель ЗАО «Химреактивснаб», Россия;

- катанол, 4 класс опасности, производитель ООО «РусХимСинтез»;

- полиэтиленгликоль (полиэтиленоксид-400, ПЭГ 400), 3 класс опасности, ТУ 2483-007-71150986-2006 изм. 1-4, CAS: 25322-68-3, производитель ГК «НОРКЕМ», Россия.

Для придания текстильным материалам антибактериальных свойств были приготовлены дезинфицирующие рецептуры следующего состава (концентрации компонентов указаны в процентах по активно действующему веществу):

1) алкилдиметилбензиламмоний хлорид – 0,05 %, полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 0,05 %, триамин – 0,05 %, пропиленгликоль – 40,0 % (далее – рецептура № 1);

2) катанол – 0,05 %, полиэтиленгликоль (полиэтиленоксид-400) – 40,0 % (далее – рецептура № 2).

Процентное содержание веществ в представленных рецептурах определено на основании показателей минимальных эффективных концентраций для тест-микроорганизмов, использованных в исследовании².

В качестве тест-образцов текстильных материалов для испытаний по оценке эффективности антимикробных пропиток использованы:

- хлопок 65 % и полиэстер 35 % – ткань костюма летнего ВКПО, тип А, ТУ 858 6549 2019);

- ткань синтетическая мембранная (полиамид 100 %, политетрафторэтиленовая мем-

¹ ГОСТ 12.1.007 76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие технические требования безопасности. М.: Стандартинформ; 2007. 7 с.

² Изучение антимикробной активности основных дезинфицирующих веществ дезинфицирующих средств и кожных антисептиков (тема 4.1.1): отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный). ФБУН НИИ Дезинфектологии Роспотребнадзора; рук. Шестопалов Н.В.; исполн.: Федорова Л.С. [и др.]. М.; 2019. 22 с.

брана) – ткань костюма ветроводозащитного, артикул 01.004619;

- полиамид 98 % и эластан 2 % – ткань куртки-ветровки.

Типовым текстильным материалом (образцом сравнения) при оценке эффективности тестируемых антибактериальных пропиток служил хлопок 100 %, ГОСТ 29298.

Анализ достигнутого уровня в создании текстильных материалов, обладающих бактерицидными свойствами. Одной из тенденций, направленных на минимизацию микробной нагрузки и снижение рисков контактного переноса патогенных микроорганизмов является создание текстиля с антимикробными свойствами. Такие текстильные материалы находят широкое применение в медицинских организациях³. Они используются для производства нательного и постельного белья, спецодежды⁴ [7] и изготовления перевязочных материалов⁵, что позволяет снизить риск распространения внутрибольничных инфекций [8].

На примере экспериментальных исследований по оценке антибактериальных свойств текстиля медицинского назначения было показано, что образцы тканей производителей «Вологодский льнокомбинат» (нити волокон обработаны триклозаном на стадии изготовления в процессе крейзинга) и «Чайковский текстиль» (антибактериальная отделка AntiBacterial швейцарской компании Sanitized AG) обладают высокой антимикробной активностью. Размер зоны задержки роста по периметру тест-образцов из данных тканей в отношении *Staphylococcus epidermidis* составил от 4 до 5 мм, а *Pseudomonas aeruginosa* – 2 мм. Ткани производства «Вологодский льнокомбинат» способны сохранять антибактериальные свойства в отношении эпидермального стафилококка после 5 стирок, тогда как ткани производства «Чайковский текстиль» – после 10 стирок. Образцы тканей вышеуказанных производителей проявляют

бактериостатические свойства в отношении госпитального штамма *P. aeruginosa*⁶.

Ткани, способные длительное время сохранять бактерицидные свойства, часто используют для изготовления перевязочного материала, салфеток, простыней для операционных; антисептического белья, одежды и матрацев для инфекционных больниц, родильных домов, поликлиник, хирургических отделений больниц и ожоговых центров [9].

Антимикробные текстильные материалы и волокна также могут быть использованы в быту при изготовлении чехлов для матрацев, скатертей, полотенец, носовых платков, а также упаковочных материалов для пищевых продуктов. Возможно, такие материалы найдут применение для изготовления носков, чулок и белья для людей, находящихся в особых условиях, когда невозможна частая смена белья⁷.

Разнообразие материалов, производимых текстильной промышленностью, представлено природными полимерами (в основном целлюлозными волокнами из хлопка), синтетическими полимерами (обычно полиэфирами, например, полиэтилентерефталатом, полиакрилатами и их сополимерами) и полимерными смесями (чаще всего смесью хлопковых волокон и полиэтилентерефталата в разных весовых соотношениях). В мире для производства текстиля на долю хлопкового волокна приходится около 33 %. На долю применения синтетических волокон, таких как полиэстер, полиамид, полипропилен, полиэтиленвинилацетат, полиуретановый эластомер (спандекс, лайкра, эластан) и другие высокопластичные волокна приходится более 60 % [10]. Таким образом, при разработке составов биоцидных пропиток необходимо учитывать их сочетаемость с другими отделочными препаратами и текстильно-вспомогательными веществами, а также адсорбирующие свойства текстильных материалов, на которые они будут нанесены.

³ Ткани для медицинских изделий специального назначения (чехлы и наматрасники). URL: <https://textile.ru/production/technology/speznaznach> (дата обращения: 20.10.2023).

⁴ Пат. RU 2619704, МПК D06M10/00. Способ получения текстильного материала с антимикробными свойствами для спецодежды : № 20161197112А: заявл. 20.05.2016; опубл. 17.05.2017 / В.В. Хамматова, И.Ф. Сайфутдинова, Д.Р. Шатаева; заявитель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский университет». – 1 с.

⁵ Rajendran S. Advanced textiles for wound care. 2018. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780081021927/advanced-textiles-for-wound-care> (дата обращения: 19.06.2023).

⁶ Виноградова Н.А. Разработка методов оценки качества тканей медицинского назначения, предназначенных для сотрудников поликлиник: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.; 2019. 16 с.

⁷ Изучение антимикробной активности основных дезинфицирующих веществ дезинфицирующих средств и кожных антисептиков (тема 4.1.1): отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный). ФБУН НИИ Дезинфектологии Роспотребнадзора; рук. Шестопалов Н.В.; исполн.: Федорова Л.С. [и др.]. М.; 2019. 22 с.

Существует два основных подхода к созданию текстильных материалов с антимикробными свойствами – это химическая и физико-механическая модификация [11].

Простым и доступным методом получения текстильного материала с антимикробными свойствами является обработка готовой ткани (изделий) антимикробным составом (разновидность химической модификации). Данный метод экономически наиболее выгоден, так как не требует значительной перестройки технологического процесса.

По механизму действия антимикробные агенты, используемые для пропитки тканей, можно разделить на 2 группы – биостатические и биоцидные. Биостатические добавки подавляют микроорганизмы, но не приводят к их гибели, тогда как пропитки с биоцидным эффектом обеспечивают снижение количества жизнеспособных клеток⁸.

Для придания тканям противомикробных свойств применяется широкий спектр действующих веществ, среди которых наиболее распространены: N-галамины, галогенированные фенолы, металлы, соли металлов и их оксиды, соединения природного происхождения (флавоноиды, хиноны, дубильные вещества, пептиды), полимерные производные гуанидина [12] и четвертичные аммониевые соединения [11, 13].

Применение таких катионных полимеров, как хлорид диметилдодecil [3-(триметоксилил) пропил] аммония в качестве пропитки для хлопчатобумажной ткани позволяет получить материал с выраженными антибактериальными свойствами [14]. При стирке такой хлопчатобумажной ткани с анионным моющим средством происходит инактивация антибактериальных агентов. Решение этой проблемы является увеличение количества наносимого на текстиль катионного полимера, однако чрезмерная пропитка ухудшает драпируемость ткани, повышает ее жесткость и шероховатость.

Известен способ получения вискозного штапельного волокна с антимикробными свойствами. Способ заключается в про-

мывке сформованных вискозных нитей, отжиме и последующей обработке водным раствором катамина АБ [15]. Полученный материал обладает повышенными антимикробными свойствами, пониженным аэродинамическим сопротивлением. Однако при применении катамина АБ следует соблюдать осторожность, так как раствор катамина оказывает раздражающее действие на кожу и слизистую оболочку глаз⁹ [16].

Доказано, что композиции, содержащие ЧАС и гуанидиновые поликатионы, обладают большим бактерицидным действием, чем каждый из дезинфектантов в отдельности. Это позволяет расширить спектр противомикробной активности. Благодаря способности полигуанидинов образовывать на обрабатываемой поверхности молекулярную полимерную пленку срок сохранения антимикробного действия рецептуры возрастает в несколько раз [17]. В исследованной нами литературе не представлены сведения о возможности применения таких композиций в качестве пропитки для создания ткани с антимикробными свойствами.

Результаты

Внешний вид тест-образцов текстильных материалов, используемых в испытаниях представлен на рисунке 1.

Из вышеуказанных тканей изготавливали тест-образцы размером (2×2) см и (2×2,5) см. Подготовка тест-образцов включала их погружение в емкости с растворами испытываемых дезинфицирующих рецептур до полного смачивания и высушивание в сушильном шкафу ED 115 (Binder, Германия) при температуре плюс (37,0±1,0) °C.

В качестве тест-микроорганизмов использовали суточные агаровые культуры золотистого стафилококка – *Staphylococcus aureus* (штамм 906) и кишечной палочки – *Escherichia coli* (штамм 1257) из коллекции филиала ФГБУ «48 ЦНИИ» Минобороны России (г. Екатеринбург), обладающие стандартной устойчивостью к эталонным дезинфицирующим средствам в соответствии с Руководством Р. 4.2.3676-20¹⁰.

⁸ Калонтаров ИЯ, Ливерант ВЛ. Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам. Душанбе: Дониш; 1981. 202 с.

⁹ Пат. RU 2304186C1, МПК D01F 2/06, МПК D04H 1/46. Способ получения вискозного штапельного волокна с антимикробным препаратом и нетканого материала из него / П.А. Бутягин, В.Х. Демтиров, Ю.В. Карасев [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО Научно-исследовательский центр химических волокон Вискоза, ООО Центральная компания Межгосударственной промышленно-финансовой группы Формаш. № 2006109634/04; заявл. 28.03.2006; опубл. 10.08.2007. 7 с.

¹⁰ Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности. Руководство Р 4.2.3676 20. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2020. 490 с.

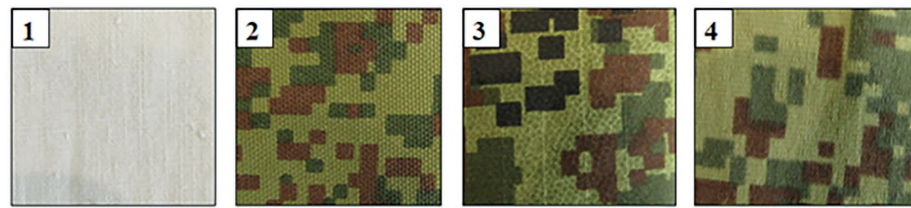


Рисунок 1 – Используемые образцы текстильных материалов: 1 – хлопок 100 %; 2 – хлопок 65 % и полиэстер 35 %; 3 – ткань синтетическая мембранная (полиамид 100 %, политетрафторэтиленовая мембрана); 4 – полиамид 98 % и эластан 2 % (фотографии выполнены авторами)

Figure 1 – Samples of textile materials used: 1 – 100% cotton; 2 – 65% cotton and 35% polyester; 3 – synthetic membrane fabric (100% polyamide, polytetrafluoroethylene membrane); 4 – 98% polyamide and 2% elastane (photos taken by the authors)

Биологическую концентрацию тест-микроорганизмов в микробной суспензии определяли в соответствии с п.п. 3.2.2.4 Руководства Р. 4.2.3676-20¹¹. Для культивирования *S. aureus* (штамм 906) применяли триптон-соевый агар (каталожный номер M290, фирма HiMedia, Индия), а для *E. coli* (штамм 1257) – агар Эндо (каталожный номер M029, фирма HiMedia, Индия). Внешний вид колоний тест-микроорганизмов на плотных питательных средах представлен на *рисунке 2*.

Испытания проводили в лабораторных условиях при температуре окружающей среды и рецептур для создания антибактериальной пропитки (22,0±0,1) °С.

В соответствии с п.п. 3.8.1.1 Руководства Р. 4.2.3676-20¹² для предварительной оценки антибактериальных свойств тканей, пропитанных тестируемыми дезинфицирующими рецептурами, применяли метод «агаровых пластин». Для этого растопленный на водяной бане и охлажденный до плюс 45 °С питательный агар смешивали в соотношении

100:1 со взвесью тест-микроорганизмов, содержащей 10^8 КОЕ·см⁻³, и разливали в чашки Петри по 20 см³. После застывания смеси питательного агара с микроорганизмами в центр каждой чашки Петри помещали тест-образец испытываемой ткани с пропиткой размером (2×2) см и инкубировали в термостате при температуре (37,0±1,0) °С. Учет результатов в отношении тест-культуры *E. coli* (штамм 1257) проводили через 24 ч, а в отношении *S. aureus* (штамм 906) – через 48 ч.

Величину зон задержки роста микроорганизмов определяли путем измерения расстояния от края тест-образца до границы роста микроорганизмов вокруг теста (по четырем сторонам каждого тест-объекта). Антимикробные ткани, исследованные данным методом, считали эффективными, если величина зоны задержки роста тест-микроорганизмов составляла не менее 4 мм¹³.

Для количественной оценки антимикробной активности исследуемых тканей

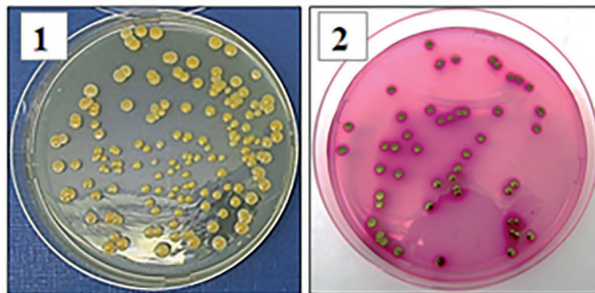


Рисунок 2 – Внешний вид колоний тест-микроорганизмов на плотных питательных средах. 1 – *S. aureus* (штамм 906), 2 – *E. coli* (штамм 1257) (фотографии выполнены авторами)

Figure 2 – Test microorganisms colonies on solid nutrient media. 1 – *S. aureus* (strain 906), 2 – *E. coli* (strain 1257) (photos taken by the authors)

¹¹ Там же.

¹² Там же.

¹³ Там же.

применяли метод «капельного заражения»¹⁴. На исследуемые тест-образцы размерами (2×2,5) см, пропитанные дезинфицирующими составами, наносили пипеткой 0,1 см³ суспензии 18-часовой культуры микроорганизмов *S. aureus* (штамм 906) или *E. coli* (штамм 1257) из расчета получения плотности контаминации не менее 1×10⁵ КОЕ·см⁻². В качестве контрольных тест-образцов использовали аналогичные ткани, не обработанные антимикробными пропитками. По истечении 5; 15 и 30 мин экспозиции опытные и контрольные образцы помещали во флаконы с 10 см³ нейтрализующей жидкости (2,5 % тиосульфата натрия, 7,0 % лецитина, 3,0 % твина 80 и 0,05 % лаурилсульфата натрия) и фарфоровой дробью. Отобранные пробы шутеллировали в течение 30 с и высевали на плотную питательную среду. После инкубации проводили подсчет колоний тест-микроорганизмов, выросших на чашках Петри.

Наглядная иллюстрация этапов оценки антибактериальной активности тканей методом «капельного заражения» представлена на рисунке 3.

Количество жизнеспособных микроорганизмов на единицу площади тест-образца (1 см²) рассчитывали по формуле (1):

$$N = \frac{x \cdot v}{s \cdot v_1} \cdot r \quad (1)$$

где N – количество жизнеспособных тест-микроорганизмов на поверхности, КОЕ·см⁻²;

x – среднее количество колоний, выросших на чашках Петри, КОЕ; v – объем смывной (нейтрализующей) жидкости, см³;

s – площадь поверхности, с которой взят смыв, см²;

v_1 – объем смывной (нейтрализующей) жидкости, посеянной на чашку Петри, см³;

r – разведение пробы, безразмерный коэффициент.

Испытания были проведены в трехкратной повторности, полученные результаты подвергали статистической обработке с доверительной вероятностью, равной 0,95. Результаты исследований, приведенные в таблицах, представлены в виде среднего арифметического значения ± стандартная ошибка среднего.

В рамках экспериментального исследования оценена эффективность антибактериальных пропиток (рецептуры № 1 и 2) для образцов тканей различного состава с использованием метода «агаровых пластин» и «капельного заражения».

Обсуждение результатов

Результаты предварительной оценки антибактериальных свойств тканей, пропитанных рецептурами № 1 и 2 в отношении тест-культуры *S. aureus* (штамм 906) представлены в таблице 1.

Пропитка тест-образцов из хлопка, а также из хлопка с полиэстером рецептурой № 1 обеспечивала задержку роста клеток *S. aureus* (штамм 906) на (4,49±0,57) мм и (4,16±0,44) мм соответственно. Применение той же рецептуры для придания антибактериальных свойств тканевым образцам из полиамида и полиамида с эластаном обеспечивало задержку роста клеток золотистого стафилококка на (1,69±0,44) мм и (1,13±0,99) мм соответственно (таблица 1).

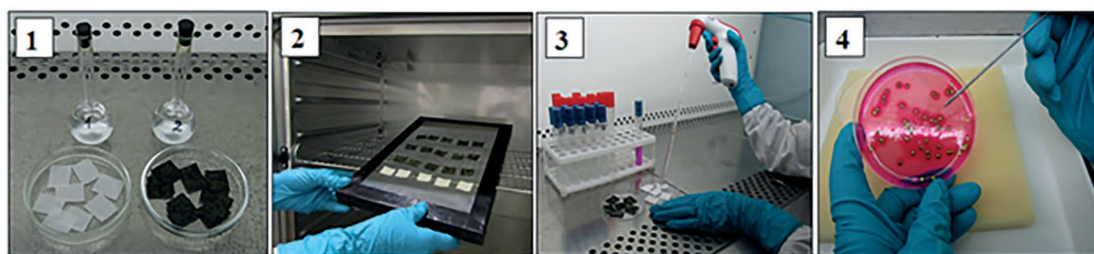


Рисунок 3 – Этапы оценки антибактериальной активности тканей методом «капельного заражения»: 1 – пропитка тест-образцов текстильных материалов рецептурой; 2 – высушивание тест-образцов на сетчатой подложке в сухожаровом шкафу; 3 – капельное заражение тканевых образцов суспензией микроорганизмов; 4 – учет количества тест-микроорганизмов на чашках Петри (фотографии выполнены авторами)

Figure 3 – Stages of antimicrobial activity evaluation of tissues (droplet infection method): 1 – to soak textile material test samples with the formula; 2 – to dry test samples on netted bedding in a dry heat oven; 3 – to infect tissue samples with a suspension that contains microorganisms by droplets; 4 – consider the amount of test microorganisms on Petri dishes (photos taken by the authors)

¹⁴ Там же.

Таблица 1 – Размеры зоны задержки роста клеток *S. aureus* (штамм 906) по периметру тканевых тест-образцов, пропитанных тестируемыми дезинфицирующими рецептурами
Table 1 – Dimensions of *S. aureus* cells inhibition zone (strain 906) along the perimeter of tissue test samples soaked with the tested disinfectant formulations

Состав ткани / Fabric composition	Пропитка / Soaking agent	Размер зоны задержки роста, мм / Inhibition zone size, mm
Хлопок 100 % / Cotton 100%	№ 1	4,49±0,57
	№ 2	3,62±0,47
Хлопок 65 % + полиэстер 35 % / Cotton 65% + Polyester 35%	№ 1	4,16±0,44
	№ 2	3,88±0,50
Полиамид 100 % / Polyamide 100%	№ 1	1,69±0,44
	№ 2	1,37±0,51
Полиамид 98 % + эластан 2 % / Polyamide 98% + Elastane 2%	№ 1	1,13±0,99
	№ 2	<1,00
Примечание. Таблица составлена авторами по собственным данным. Note. The table is compiled by the authors according to their own data.		

Фотографии, представленные на *рисунке 4*, наглядно отображают размеры зон задержки роста тест-культуры *S. aureus* (штамм 906) по периметру тканевых образцов, пропитанных рецептурой № 1.

В *таблице 2* приведены значения размеров зон задержки роста тест-культуры *E. coli* (штамм 1257) по периметру тканевых образцов с пропиткой № 1 и 2.

Зона ингибирования роста колоний тест-микроорганизма *E. coli* (штамм 1257)

вокруг образцов из хлопка, пропитанных рецептурой № 1, составляла (2,75±0,89) мм, а для образцов из хлопка с полиэстером – (2,04±0,38) мм (*таблица 2*).

Следует отметить, что для тест-образцов из хлопка и хлопка с полиэстером, обладающих высокой гигроскопичностью, размер зоны задержки роста микроорганизмов больше, чем для образцов из синтетической ткани. Представленные на *рисунке 5* фотографии наглядно это демонстрируют.

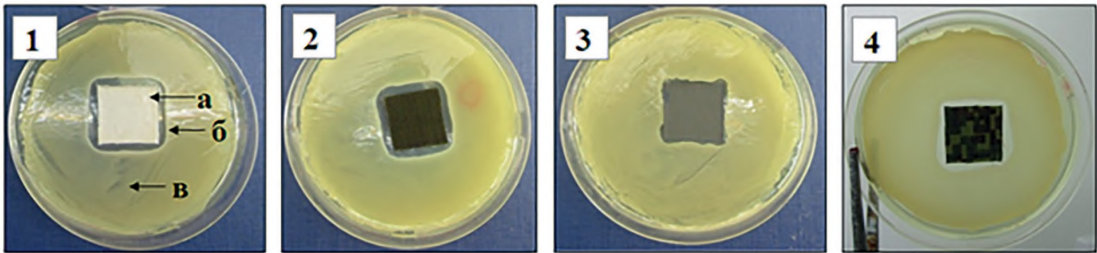


Рисунок 4 – Зоны задержки роста клеток *S. aureus* (штамм 906) по периметру тест-образцов, пропитанных рецептурой № 1. Тест-образцы текстильных материалов с пропиткой: 1 – хлопок 100 %; 2 – хлопок 65 % и полиэстер 35 %; 3 – полиамид 100 %; 4 – полиамид 98 % и эластан 2 %; а – тканевый тест-образец, б – зона задержки роста тест-микроорганизма, в – рост тест-микроорганизма на плотной питательной среде (фотографии выполнены авторами)

Figure 4 – *S. Aureus* inhibition zone (strain 906) along the perimeter of test samples, soaked with the formulation № 1. Test samples of textiles soaked with the formulation: № 1 – cotton 100%; 2 – cotton 65% and polyester 35%; 3 – polyamide 100%; 4 – polyamide 98% and elastane 2%; a – tissue test sample , б – test microorganism inhibition zone, в – growth of test microorganism on a solid nutrient medium (photos taken by the authors)

Таблица 2 – Размеры зоны задержки роста клеток *E. coli* (штамм 1257) по периметру тканевых тест-образцов, пропитанных тестируемыми дезинфицирующими рецептурами
Table 2 – Dimensions of *E. coli* cells inhibition zone (strain 1257) along the perimeter of tissue test samples soaked with the tested disinfectant formulations

Состав ткани / Fabric composition	Пропитка / Soaking agent	Размер зоны задержки роста, мм / Inhibition zone size, mm
Хлопок 100 % / Cotton 100%	№ 1	2,75±0,89
	№ 2	<1,00
Хлопок 65 % + полиэстер 35 % / Cotton 65% + Polyester 35%	№ 1	2,04±0,38
	№ 2	<1,00
Полиамид 100 % / Polyamide 100%	№ 1	<1,00
	№ 2	Отсутствует / Absent
Полиамид 98 % + эластан 2 % / Polyamide 98% + Elastane 2%	№ 1	<1,00
	№ 2	Отсутствует / Absent
Примечание. Таблица составлена авторами по собственным данным. Note. The table is compiled by the authors according to their own data.		

Пропитка образцов тканей рецептурой № 2 не обеспечивала регламентированной Руководством Р. 4.2.3676-20 задержки роста тест-микроорганизмов *S. aureus* (штамм 906) и *E. coli* (штамм 1257) (таблица 1 и 2).

В таблице 3 приведены данные об эффективности испытываемых рецептур для пропитки текстильных материалов в отношении тест-культуры *S. aureus* (штамм 906). Пропитка образцов из хлопка рецептурами № 1 и 2 обеспечивала полную инактивацию клеток *S. aureus* (штамм 906) через 15 мин

после нанесения на них микробной культуры. На тест-образцах ткани из хлопка с полиэстером, пропитанных рецептурами № 1 и 2, полной гибели микроорганизмов удавалось достичь при тридцатиминутной экспозиции (таблица 3).

Пропитка тест-образцов из полиамида дезинфицирующей рецептурой № 1 обеспечивала снижение плотности контаминации клетками *S. aureus* (штамм 906) на три порядка по сравнению с контрольными образцами, в то время как обработка данным

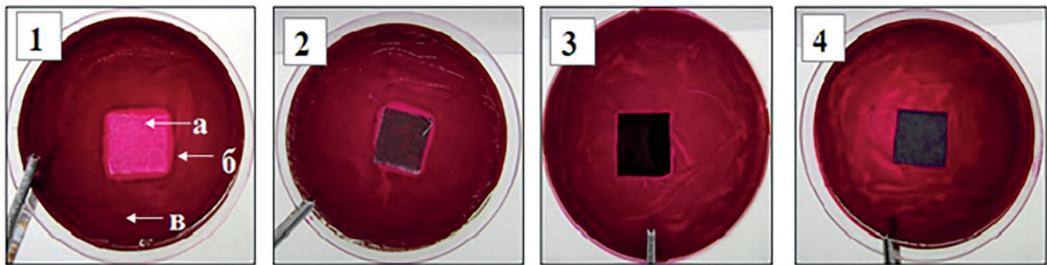


Рисунок 5 – Зоны задержки роста клеток *E. coli* (штамм 1257) по периметру тест-образцов, пропитанных рецептурой № 1 (тест-образцы текстильных материалов с пропиткой: 1 – хлопок 100 %; 2 – хлопок 65 % и полиэстер 35 %; 3 – полиамид 100 %; 4 – полиамид 98 % и эластан 2 %; а – тканевый тест-образец, б – зона задержки роста тест-микроорганизма, в – рост тест-микроорганизма на плотной питательной среде (фотографии выполнены авторами)
Figure 5 – *E. coli* inhibition zone (strain 1257) along the perimeter of test samples, soaked with the formulation № 1. Test samples of textiles soaked with the formulation № 1: 1 – cotton 100%; 2 – cotton 65% and polyester 35%; 3 – polyamide 100%; 4 – polyamide 98% and elastane 2%; а – tissue test sample, б - growth retardation zone of the test microorganism, в – growth of the test microorganism on a solid nutrient medium (photos taken by the authors)

Таблица 3 – Эффективность испытанных рецептур для пропитки тканевых образцов в отношении тест-культуры *S. aureus* (штамм 906)
Table 3 – The efficiency of the tested formulations for soaking of test samples in terms of *S. aureus* test culture (strain 906)

Состав ткани / Fabric composition	Пропитка / Soaking agent	Исходная плотность контаминации тест-образцов, 10 ⁵ КОЕ·см ⁻² / The initial contamination density of the test samples, 10 ⁵ CFU·cm ⁻²	Остаточное количество жизнеспособных микроорганизмов на опытных тест-образцах через ... мин, КОЕ·см ⁻² / The residual amount of viable microorganisms at the experimental test samples in ... min, CFU·cm ⁻²		
			5	15	30
Хлопок 100 % / Cotton 100%	№ 1	4,30±1,71	(5,70±0,30)·10 ³	Не обнаружено / Not detected	Не обнаружено / Not detected
	№ 2	4,45±1,51	(9,00±1,07)·10 ²	Не обнаружено / Not detected	Не обнаружено / Not detected
Хлопок 65 % + полиэстер 35 % / Cotton 65% + Polyester 35%	№ 1	2,47±0,64	(4,88±1,22)·10 ³	(9,60±0,58)·10 ²	Не обнаружено / Not detected
	№ 2	2,82±0,85	(1,25±0,66)·10 ⁴	(4,97±1,68)·10 ²	Не обнаружено / Not detected
Полиамид 100 % / Polyamide 100%	№ 1	3,53±1,21	(6,20±1,05)·10 ³	(7,20±3,39)·10 ²	(6,08±1,60)·10 ²
	№ 2	3,38±0,74	(2,88±0,75)·10 ⁵	(2,30±1,57)·10 ⁵	(1,25±0,62)·10 ⁵
Полиамид 98 % + эластан 2 % / Polyamide 98% + Elastane 2%	№ 1	4,70±1,15	(2,00±0,19)·10 ⁵	(8,00±1,47)·10 ⁴	(3,35±1,63)·10 ⁴
	№ 2	4,93±1,33	(1,93±0,17)·10 ⁵	(1,60±0,59)·10 ⁵	(1,43±0,50)·10 ⁴
Примечание. Таблица составлена авторами по собственным данным. Note. The table is compiled by the authors according to their own data.					

составом образцов из полиамида с эластаном позволяла снизить плотность заражения на один порядок (таблица 3).

Из данных, представленных в таблице 3, видно, что пропитка тканевых образцов из полиамида и полиамида с эластаном рецеп-

турой № 2 не придавала им антимикробных свойств в отношении золотистого стафилококка в течение тридцатиминутной экспозиции.

В таблице 4 представлены показатели исходной и остаточной плотности заражения

Таблица 4 – Эффективность испытанных рецептур для пропитки тканевых образцов в отношении тест-культуры *E. coli* (штамм 1257)
Table 4 – The efficiency of the tested formulations for soaking of test samples in terms of *E. coli* test culture (strain 1257)

Состав ткани / Fabric composition	Пропитка / Soaking agent	Исходная плотность контаминации тест-образцов, 10 ⁵ КОЕ·см ⁻² / The initial contamination density of the test samples, 10 ⁵ CFU·cm ⁻²	Остаточное количество жизнеспособных микроорганизмов на опытных тест-образцах через ... мин, КОЕ·см ⁻² / The residual amount of viable microorganisms at the experimental test samples in ... min, CFU·cm ⁻²		
			5	15	30
Хлопок 100 % / Cotton 100%	№ 1	1,90±0,76	(2,66±0,64)·10 ³	(3,00±1,40)·10 ¹	Не обнаружено / Not detected
	№ 2	1,70±0,38	(4,96±1,96) 10 ³	(4,80±0,28)·10 ²	Не обнаружено / Not detected
Хлопок 65 % + полиэстер 35 % / Cotton 65% + Polyester 35%	№ 1	2,13±0,66	(9,83±0,16)·10 ⁴	(1,60±0,10)·10 ⁴	(8,45±0,43)·10 ²
	№ 2	4,33±1,83	(1,43±0,95)·10 ⁵	(1,33±0,75)·10 ⁵	(1,47±0,22)·10 ⁴

Продолжение таблицы 4

Состав ткани / Fabric composition	Пропитка / Soaking agent	Исходная плотность контаминации тест-образцов, 10 ⁵ КОЕ·см ⁻² / The initial contamination density of the test samples, 10 ⁵ CFU·cm ⁻²	Остаточное количество жизнеспособных микроорганизмов на опытных тест-образцах через ... мин, КОЕ·см ⁻² / The residual amount of viable microorganisms at the experimental test samples in ... min, CFU·cm ⁻²		
			5	15	30
Полиамид 100 % / Polyamide 100%	№ 1	2,78±1,33	(4,92±2,26)·10 ⁴	(3,33±1,63)·10 ⁴	(8,86±3,77)·10 ³
	№ 2	2,78±1,33	(2,00±0,70)·10 ⁵	(1,79±0,17)·10 ⁵	(1,66±0,36)·10 ⁵
Полиамид 98 % + эластан 2 % / Polyamide 98% + Elastane 2%	№ 1	3,75±1,28	(9,79±1,39)·10 ⁴	(1,70±0,80)·10 ⁴	(2,27±0,42)·10 ³
	№ 2	7,49±2,05	(4,55±1,13)·10 ⁵	(1,47±0,21)·10 ⁵	(6,30±3,70)·10 ⁴
Примечание. Таблица составлена авторами по собственным данным. Note. The table is compiled by the authors according to their own data.					

клетками *E. coli* (штамм 1257) тканевых тест-образцов с пропитками № 1 и 2.

Наибольшей эффективностью в отношении тест-культуры *E. coli* (штамм 1257) обладала пропитка № 1 (таблица 4). Применение данного состава на образцах из хлопка обеспечивало полную инактивацию клеток кишечной палочки в течение 30 мин, а на образцах из хлопка с полиэстером снижало плотность контаминации на три порядка (таблица 4).

После 30 мин экспозиции на тест-образцах из полиамида и полиамида с эластаном, пропитанных рецептурой № 1, зафиксировано снижение плотности контаминации клетками *E. coli* (штамм 1257) на два порядка (таблица 4) по сравнению с контрольными образцами из тех же тканей.

Рецептура № 2 эффективна в отношении клеток *E. coli* (штамм 1257) в качестве пропитки хлопка (30 мин), на других тканях снижение уровня контаминации этого тест-микроорганизма происходило не более чем на один порядок.

Выводы

1. Пропитка ткани из хлопка с полиэстером рецептурой № 1, содержащей 0,05 % алкилдиметилбензиламмоний хлорида, 0,05 %

полигексаметиленгуанидин гидрохлорида, 0,05 % триамина, и 40,0 % пропиленгликоля, придает текстильному материалу антимикробные свойства, обеспечивая полную инактивацию клеток *S. aureus* (штамм 906) и снижение контаминации клетками *E. coli* (штамм 1257) на три порядка через 30 мин экспозиции.

2. Применение рецептуры № 1 для пропитки синтетической мембранной ткани из полиамида позволяет получить материал, обеспечивающий снижение микробной контаминации на три порядка в отношении тест-культуры *S. aureus* (штамм 906) и на два порядка в отношении тест-культуры *E. coli* (штамм 1257).

3. Рецептура № 2, содержащая 0,05 % катанола и 40,0 % полиэтиленгликоля, может быть применена для создания антибактериальной пропитки ткани из хлопка с полиэстером в отношении грамположительных бактерий, например *S. aureus* (штамм 906).

4. В качестве антибактериальной пропитки текстильных материалов различного состава может быть рекомендована рецептура № 1, так как ее применение придает защитные свойства не только ткани смесового состава (хлопок 65 % и полиэстер 35 %), но и синтетической ткани (полиамид 100 %).

Ограничения исследования / Limitations of the study

Сохраняемость антимикробных свойств текстильного материала после их пропитки, а также показатели их токсичности, в данной работе не изучались, что является предметом наших дальнейших исследований / The persistence of antimicrobial properties of textile materials after impregnation, as well as their toxicity indicators, were not studied in this work, which is the subject of our further research.

Список источников/References

1. Goyal S, Khot SC, Ramachandran V, Shah KP, Musher DM. Bacterial contamination of medical provides while coast and surgical scrubs: a systematic review. *American Journal of Infection Control*. 2019;47(8):994–1001. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.01.012>
2. Mishra SK, Maharjan S, Yadav SK, Sah NP, Sharma S, Parajuli K, et al. Bacteria on medical professionals while coast in a university hospital. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*. 2020;2020:5957284. <https://doi.org/10.1155/2020/5957284>
3. Dunn D. Linen: the new frontier in infection control and prevention. *AORN Journal*. 2022;115:310–324. <https://doi.org/10.1002/aorn.13643>
4. Cheng VCC, Chen JHK, Leung SSM, So SYC, Wong SCY, et al. Seasonal outbreak of bacillus bacteremia associated with contaminated linen in Hong Kong. *Clinical Infectious Diseases*. 2017;64(suppl_2):S91–7. <https://doi.org/10.1093/cid/cix044>
5. Ohl M, Schweizer M, Graham M, Heilmann K, Boyken L, Diekema D. Hospital privacy curtains are frequently and rapidly contaminated with potentially pathogenic bacteria. *American Journal of Infection Control*. 2012;40(10):904–6. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.12.017>
6. Shek K, Patidar R, Kohja Z, Liu S, Gawaziuk JP, Gawthrop M, et al. Rate of contamination of hospital privacy curtains in a burns/plastic ward: a longitudinal study. *American Journal of Infection Control*. 2018;46(9):1019–21. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.03.004>
7. Simoncic B, Tomsic B. Structures of Novel Antimicrobial Agents for Textiles – A Review. *Textile Research Journal*. 2010;80(16):1721–37. <https://doi.org/10.1177/0040517510363193>
8. Li H, Fernandez A, Pleixats R, Vallribera A. Anti-inflammatory cotton fabrics and silica nanoparticles with potential topical medical application. *ACS Applied Materials & Interfess*. 2020;12(23):25658–75.
9. Халиуллина МК, Гадельшина ЭА. Использование различных бактерицидных и фунгицидных добавок в полимерах при производстве антимикробных текстильных материалов. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014;17(8):87–91.
Khaliullina MK, Gadelshina EA. The use of various bactericidal and fungicidal additives in polymers in the production of antimicrobial textile materials. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014;17(8):87–91 (in Russian).
10. Chrusciel JJ. Modifications of Textile Materials with Functional Silanes, Liquid Silicone Softeners, and Silicone Rubbers – A Review. *Polymers*. 2022;14(20):4382. <https://doi.org/10.3390/polym14204382>
11. Сахаров КА, Андреев СВ, Зверев СА. Функциональный текстиль с антимикробными свойствами. Краткий обзор. *Дезинфекционное дело*. 2020;3:28–39. EDN:ywbscb. <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2020-3-28-42>
12. Khashirova SYu, Musaeva YuI, Kirzhinova IKh. New nanocomposites: cotton cellulose-ketimines based on guanidine and aminoquanidine. *Fibre Chemistry*. 2018;50(1):60–3. <https://doi.org/10.1007/s10692-018-9931-1>
13. Liu J, Dong C, Wei D, Zhang Z, Xie W, Li Q, Lu Z. Multifunctional Antibacterial and Hydrophobic Cotton Fabrics Treated with Cyclic Polysiloxane Quaternary Ammonium Salt. *Fibers and Polymers*. 2019;20:1368–74. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-1091-2>
14. Jin-Kyu K, Seung-Chan L, Song-Bae K. Synthesis of quaternary ammonium functionalized silica get through grafting of dimethyl dodecyl 3-(trimetoxysilyl) propyl ammonium chloride for nitrate removal in batch and column studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2019;102:153–62. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.05.019>
15. Han H, Liu C, Zhu J, Li FX, Wang XL, Yu JY, et al. Contact/Release Coordinated Antibacterial Cotton Fabrics Coated with N-Halamin and Cationic Antibacterial Agent for Durable Bacteria-Killing Application. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(24):E9489. <https://doi.org/10.3390/ijms21249489>
16. Ванюкова ЕА. Современные технологии получения материалов кожаной и текстильной промышленности с антимикробными свойствами. *Вестник технологического университета*. 2015;18(21):58–61.
Vanukova E.A. Modern technologies for producing materials for the leather and textile industries with antimicrobial properties. *Herald of Technology University*. 2015;18(21):58–61 (in Russian).

17. Ефимов КМ, Дитюк АИ, Панкратова ГП, Левчук НН, Рысина ТЗ, Богданов АИ и др. Новые полигуанидины – инновационные дезсредства пролонгированного антимикробного действия. *Дезинфекционное дело*. 2015;3:13–20. EDN:uibzup

Efimov KM, Dityuk AI, Pankratova GP, Levchuk NN, Rysina TZ, Bogdanov AI, Snezhko AG. New polyguanidines are innovating disinfectants with prolonged antimicrobial effect. *Disinfection affairs*. 2015;3:13–20 (in Russian). EDN:uibzup

Вклад авторов / Authors contributions

Все авторы подтверждают соответствие авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: **З.А. Шафигуллина** – формирование концепции статьи, проведение экспериментальных исследований, анализ полученных данных, написание текста рукописи; **С.Р. Бухаева** – проведение экспериментальных исследований, получение фотоматериалов, редактирование текста рукописи; **Н.П. Коломацкая** – анализ экспериментальных данных и научной литературы по тематике статьи, составление таблиц; **М.С. Сугонякина** – проведение экспериментальных исследований / All authors confirm that they meet the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) criteria for authorship. The most significant contributions are as follows: **Z.A. Shafigullina** has formulated the concept of the study, has conducted experimental studies, has analyzed obtained data, has written the text of the study; **S.R. Bukhaeva** has conducted experimental studies, has taken photos, has edited the text of the paper; **N.P. Kolomatskaya** has analyzed experimental data and scientific papers on the topic of the article, has compiled tables; **M.S. Sugonyakina** has conducted experimental studies.

Сведения о рецензировании / Peer review information

Статья прошла двустороннее анонимное «слепое» рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе / The article has been doubleblind peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Об авторах / Authors

Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «48 Центральный научно-исследовательский институт» (г. Екатеринбург) Министерства обороны Российской Федерации. 620085, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Звездная, д. 1.

Шафигуллина Злата Александровна. Ведущий научный сотрудник, канд. биол. наук.

Бухаева Светлана Рамазановна. Научный сотрудник отдела.

Коломацкая Нина Павловна. Научный сотрудник отдела.

Сугонякина Майя Сергеевна. Младший научный сотрудник отдела.

Контактная информация для всех авторов: 47051_1@mil.ru

Контактное лицо: Шафигуллина Злата Александровна; 47051_1@mil.ru

Branch Office of 48 Central Scientific Research Institute (Yekaterinburg) of the Ministry of Defence of the Russian Federation Zvezdnaya Street 1, Yekaterinburg 620085, Russian Federation.

Zlata A. Shafigullina. Leading Researcher, Cand. Sci. (Biol.).

Svetlana R. Bukhaeva. Researcher.

Nina P. Kolomatskaya. Researcher.

Maiya S. Sugonyakina. Junior Researcher.

Contact information for all authors: 47051_1@mil.ru

Contact person: Zlata A. Shafigullina; 47051_1@mil.ru